

FACTORES PSICOLOGICOS Y FISIOLOGICOS ASOCIADOS AL RENDIMIENTO DEPORTIVO

- Aplicaciones para su control y mejora en disciplinas de resistencia -



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Tesis doctoral

Autor:

Jesús Manuel Ortigosa Márquez

Directores

Dr. D. Antonio Hernández Mendo

Dr. D. Gabriel Carranque Chaves

Dr. D. Sidonio Serpa

Departamento de Psicología Social, T. S., A. S. y E. A. O.

Málaga 2016



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

AUTOR: Jesús Manuel Ortigosa Márquez

 <http://orcid.org/0000-0002-2021-8918>

EDITA: Publicaciones y Divulgación Científica. Universidad de Málaga



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización pero con el reconocimiento y atribución de los autores.

No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

Esta Tesis Doctoral está depositada en el Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga (RIUMA): riuma.uma.es

“Factores psicológicos y fisiológicos asociados al rendimiento deportivo”

-Aplicaciones para su control y mejora en disciplinas de resistencia-

TESIS DOCTORAL

Jesús Manuel Ortigosa Márquez

Programa oficial de Doctorado



Investigación en Actividad Física y Deporte

Directores

Dr. D. Antonio Hernández Mendo

Dr. D. Gabriel Carranque Chaves

Dr. D. Sidonio Serpa

Departamento de Psicología Social, T. S., A. S. y E. A. O.

Universidad de Málaga

EL DR. DON ANTONIO HERNÁNDEZ MENDO, CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD EN EL DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA SOCIAL, TRABAJO SOCIAL, ANTROPOLOGÍA SOCIAL Y ESTUDIOS DE ASIA ORIENTAL DE LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA, EL DR. DON GABRIEL CARRANQUE CHAVES, PROFESOR ASOCIADO EN EL DEPARTAMENTO DE ESPECIALIDADES QUIRÚRGICAS, BIOQUÍMICA E INMUNOLOGÍA, Y DR. DON SIDONIO SERPA, CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD EN EL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL DEPORTE DE LA UNIVERSIDAD DE LISBOA,

INFORMAN:

Que la presente Tesis Doctoral realizada por D. Jesús Manuel Ortigosa Márquez titulada **“Factores psicológicos y fisiológicos asociados al rendimiento deportivo – Aplicaciones para su control y mejora en disciplinas de resistencia -”** de la cual somos directores, ha sido proyectada, desarrollada y redactada bajo nuestra supervisión.

Que el mencionado trabajo de investigación reúne todas las características científicas y técnicas para poder ser defendido públicamente. Asimismo, merece una alta valoración en cuanto al rigor, actualidad de planteamiento y aspectos metodológicos. De todo lo cual informo, como trámite preceptivo para su aceptación y posterior defensa pública.

Y para que así conste, expiden y firman este informe en Málaga, a 15 de diciembre de 2016.

Fdo.:

D. Antonio Hernández- Mendo

Fdo.:

D. Gabriel Carranque Chaves

Fdo.:

D. Sidonio Serpa

Agradecimientos

La conclusión de este tipo de proyectos no está exenta del mérito de las personas que día a día te han apoyado y acompañado durante todo el proceso. En primer lugar, mis palabras de agradecimiento van dirigidas a mi familia, y en especial, a mis padres, que son sin duda los responsables de esté hoy aquí, siempre mostrando su apoyo y confiando en mis decisiones.

Quisiera igualmente dar un guiño a mis abuelos, allá donde estén, pues su contribución e influencia en mí forman una parte importante de este trabajo, siendo en concreto mi abuelo Luis, una de mis inspiraciones y motivaciones.

Un agradecimiento especial al Dr. D. Antonio Hernández Mendo, al Dr. D. Sidonio Serpa y al Dr. D. Gabriel Carranque Chaves, directores de mi Tesis, por su paciencia, confianza, preocupación y especial atención siempre que la he necesitado. Por sus palabras de ánimo, que sin duda fueron necesarias en muchos momentos.

Agradecer al Dr. D. Rafael E. Reigal Garrido por su profesionalismo, disponibilidad y apoyo durante este proceso, así como al Dr. D. Antonio Rosado Antonio por su tutorización durante el período de estancia y su gran aporte en este trabajo. Por último, quisiera dedicar unas palabras a mi pareja, por su cariño, comprensión y apoyo diario sin el cual todo habría sido mucho más difícil.

Mi más sincero gracias a todos.

Índice de contenidos

Resumen General de la Tesis [Inglés]	- 27 -
Capítulo 1: Marco teórico	- 27 -
1.1 Antecedentes.....	- 27 -
1.2 Objetivos generales.....	- 31 -
1.3 Objetivos específicos	- 31 -
1.4 Organización de la tesis doctoral.....	- 32 -
1.5 Estructura de las investigaciones	- 32 -
1.6 Implicaciones prácticas: International Periodization Training Method-	34 -
1.7 Referencias	- 35 -
Capítulo 2: Efectos de la edad relativa en el proceso de selección nacional de triatlón	- 43 -
2.1 Resumen	- 43 -
2.2 Introducción.....	- 43 -
2.3 Material y método.....	- 47 -
2.4 Resultados.....	- 49 -
2.5 Discusión	- 53 -
2.6 Conclusión y consideraciones	- 55 -
2.7 Referencias	- 56 -
Capítulo 3: Variabilidad de la frecuencia cardíaca: investigación y aplicaciones prácticas en el ámbito deportivo.....	- 63 -
3.1 Resumen	- 63 -
3.2 Introducción.....	- 63 -
3.3 Precisión en la medida.....	- 67 -
3.4 Principales aplicaciones en el ámbito científico-deportivo	- 71 -
3.5 Consideraciones metodológicas en el uso diario de la VFC.	- 73 -
3.6 Conclusiones.....	- 79 -

3.7	Agradecimientos	- 80 -
3.8	Referencias	- 80 -
Capítulo 4: La variabilidad de la frecuencia cardíaca como herramienta de control de los procesos de adaptación en ultra-resistencia: un estudio de casos.		
4.1	Resumen	- 91 -
4.2	Introducción.....	- 92 -
4.3	Método.....	- 95 -
4.4	Resultados.....	- 100 -
4.5	Discusión	- 105 -
4.6	Conclusión.....	- 108 -
4.7	Referencias	- 108 -
Capítulo 5: Observación automatizada: la variabilidad de la frecuencia cardíaca y su relación con las variables psicológicas determinantes del rendimiento en nadadores jóvenes.....		
5.1	Resumen:	- 117 -
5.2	Introducción.....	- 118 -
5.3	Método.....	- 121 -
5.4	Resultados.....	- 126 -
5.5	Discusión	- 127 -
5.6	Referencias	- 130 -
Capítulo 6: Efectos del entrenamiento autógeno en la capacidad pulmonar, ansiedad competitiva y vitalidad subjetiva.....		
6.1	Resumen	- 139 -
6.2	Introducción.....	- 139 -
6.3	Material y métodos	- 141 -
6.4	Resultados.....	- 147 -
6.5	Discusión y conclusiones	- 149 -
6.6	Referencias	- 151 -

Capítulo 7: International Periodization Training Method (ITPM): la primera plataforma para la planificación científica del entrenamiento deportivo.	159 -
7.1 Introducción.....	159 -
7.2 Página principal	159 -
7.3 Modo entrenador	161 -
El modelo de Impulso-Respuesta.	184 -
La variabilidad de la frecuencia cardíaca.....	185 -
7.4 Modo atleta:.....	186 -
7.5 Conclusión	191 -
7.6 Futuros desarrollos	191 -
7.7 Referencias	192 -
Capítulo 8: Discusión y conclusiones [Inglés]	197 -
9 Limitaciones y futuras líneas de investigación.....	205 -
Anexos	207 -
10 Estudio 1: “Efectos de la edad relativa en el proceso de selección nacional de triatletas”.....	209 -
11 Estudio 2: “Variabilidad de la frecuencia cardíaca: investigación y aplicaciones prácticas en el ámbito deportivo”.	210 -
12 Estudio 4: “Observación automatizada: la variabilidad de la frecuencia cardíaca y su relación con las variables psicológicas determinantes del rendimiento en nadadores jóvenes”.	211 -
13 Estudio 5: “Efectos del entrenamiento autógeno en la capacidad pulmonar, ansiedad competitiva y vitalidad subjetiva”.	212 -
14 Estancia internacional.....	214 -
14.1 Datos generales:.....	214 -
14.2 Objetivos específicos:.....	214 -
14.3 Indicadores de evaluación	215 -
14.4 Memoria: Seminario Internacional - Sport Expertise: Biological Behavioural Constraints -	215 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación intra-categoría masculina entre cuartiles de nacimiento -	51 -
Tabla 2. Comparación intra-categoría femenina entre cuartiles de nacimiento..	52 -
Tabla 3. Comparación intra-sexo entre cuartiles de nacimiento.....	52 -
Tabla 4. Descriptivos de las variables analizadas durante la temporada organizada por semana.....	104 -
Tabla 5. Correlaciones de Pearson entre los parámetros de VFC y los factores del perfil de estado de ánimo.....	126 -
Tabla 6. Correlaciones de Pearson entre la marca en la prueba de 200m libres y los indicadores de la VFC relacionados a la actividad parasimpática.....	127 -
Tabla 7. Frecuencias y porcentajes de las variables demográficas.....	148 -
Tabla 8. Resultados estadísticos de las variables objeto de estudio.	148 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de un intervalo R-R entre complejos QRS.	64 -
Figura 2. Modelo ilustrativo de la influencia del sistema nervioso simpático y parasimpático sobre la frecuencia cardíaca.	65 -
Figura 3. Diferencias de la magnitud del efecto (ME) entre períodos de competición.	105 -
Figura 4. Relación entre Ln rMSSD e intervalos R-R. Los gráficos A y B representan el primer y segundo período (no se observa correlación). El gráfico C muestra una correlación lineal para el tercer período de la temporada.....	105 -
Figura 5. Pantalla de presentación de la aplicación.	161 -
Figura 6. Proceso guiado para añadir un atleta.	165 -
Figura 7. Proceso guiado para comenzar una planificación.	167 -
Figura 8. Panel de periodización.....	170 -
Figura 9. Panel para introducir datos del test de velocidad crítica de dos distancias....	175 -
Figura 10. Muestra del calendario.	177 -
Figura 11. Menú de selección para la introducción de tareas en el calendario....	178 -
Figura 12. Pantalla de diseño de la sesión en carrera.	179 -
Figura 13. Pantalla de diseño de la sesión en natación.....	180 -
Figura 14. Pantalla de diseño de la sesión de fuerza.....	182 -

Publicaciones y Presentaciones de la Tesis Doctoral

La presente Tesis Doctoral se presenta por compendio de los siguientes artículos:

Ortigosa-Márquez, J.M.; Reigal, R.; Serpa, S. y Hernández-Mendo, A. (Pendiente de publicación/ In Press). Efectos de la edad relativa en el proceso de selección nacional de triatletas / Relative Age Effect on National Selection Process in Triathlon. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.

Ortigosa-Márquez, J.M.; Reigal, R.; Carranque-Chaves, Gabriel y Hernández-Mendo, A. (Pendiente de publicación/ In Press). Variabilidad de la frecuencia cardíaca: investigación y aplicaciones prácticas en el ámbito deportivo. Revista Iberoamericana de Psicología del Ejercicio y del Deporte.

Ortigosa-Márquez, J.M.; Reigal, R.; Serpa, S. y Hernández-Mendo, A. (En revisión). La variabilidad de la frecuencia cardíaca como herramienta de control del proceso estrés-recuperación en ultra-resistencia: un estudio de casos / The heart rate variability as a tool for control od adaptative processes in ultra-endurance: a case study. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.

Ortigosa-Márquez, J.M.; Reigal, R.; Portell, Mariona; Hernández-Mendo, A. y Morales-Sánchez, Verónica. (Pendiente de publicación/ In Press). Observación automatizada: la variabilidad de la frecuencia cardíaca y su relación con las variables psicológicas determinantes del rendimiento en nadadores jóvenes / Automated observation: heart rate variability and its relationship with performance-related psychological variables in young swimmers. Anales de Psicología

Ortigosa-Márquez, J.M.; Carranque-Chaves, Gabriel y Hernández-Mendo, A (2015). Efectos del entrenamiento autógeno en la capacidad pulmonar, ansiedad competitiva y vitalidad subjetiva / Effects of autogenic training on lung capacity, competitive anxiety and subjective vitality. *Biomedical Research*, 26(1), 71-76.

Resumen General de la Tesis [Inglés]

Sports performance is a multidimensional concept, which both coaches and scientists try to split in order to develop strategies that optimize the athlete's performance in competition. Traditionally, research has been directed at studying the behavior of physiological parameters (Saw, Main, and Gatin, 2015). However, a multidisciplinary research is needed to explain the interactions between the factors that compose it. In the disciplines of resistance (case of the doctoral thesis) it is necessary to consider the performance as an holistic concept, which requires the integration of the physiological and psychological aspects for its understanding. Thus, the objective of this thesis is, first, to identify the psychophysiological factors associated with sports performance. Second, to explore practical applications for evaluation and improvement.

In this line, the degree of development of the capacities or the maturational level of the athlete is one of the factors pointed out by the authors (Malina, Bouchard, and Bar-Or, 2003) as determinant of the athletic performance. In groups that share a similar chronological age, some studies (Costa, Marques, Louro, Ferreira, and Marinho, 2013, Müller, Hildebrandt, and Raschner, 2015) indicate that differences in performance could be significantly associated with maturation among individuals. This fact is known as the relative age effect (RAE). The first study aims to analyze the influence of RAE on national triathlon selection process ($n = 1321$) during the seasons 2013-2015. The sample was divided by category and gender. Each was allocated into four quartiles – based on date of birth according to the selection year (Mujika et al., 2009). The intra-categorical and intra-gender differences between quartiles were determined using the Kruskal-Wallis non-parametric test. The Mann Whitney test was also used to evaluate the multiple comparisons among groups by adjusting the significance level using the Bonferroni procedure. The intra-categorical and intra-gender male results showed a

better performance trend in those athletes that were born in the first quartile -January to March-. In contrast, athletes that were born in the latter part of the year –October to December- showed poorer overall performance and a lower score in the point scale established by the Spanish Triathlon Federation. However, these results were less consistent for females. The results show higher performance among older female triathletes only in 100 m and 1000 m swimming timekeeping. These data agree with other findings in endurance (Costa et al., 2013), that observes how the athletes born in the last quartile of the year show a poor performance (Müller et al., 2015). This work has shown the importance of considering chronological age as part of the multifactorial performance concept, in addition to suggesting its consideration in selection procedures in sport.

Also, when it comes to identify the factors associated with sport performance in the endurance, it is not possible to ignore the cardiovascular capacity. Thus, the second study examines the heart rate variability (HRV), mainly due to its recent incorporation to research in the sport field. In this paper shows the reliability and validity of the measurement of portable devices in comparison with the electrocardiogram (ECG) as a traditional evaluation method (Gamelin, Berthoin, and Bosquet, 2006, Quintana, Heathers, and Kemp, 2012). On the other hand, some authors point out the methodological inconsistency in the use of this parameter as a tool to control the stress-recovery process in athletes (Buchheit, 2014). In order to apply this indicator, this work performs a wide review where it is defined the short duration intervals at rest (Al Haddad, Laursen, Chollet, Ahmaidi, and Buchheit, 2011) with a frequency of 3-4 times per week (Buchheit, 2014, Plews, Laursen, Kilding, and Buchheit, 2012) as the most appropriate method for the HRV evaluation. Also, this review has shown the statistical method in order to analyze the change (Hopkins, Hawley, and Burke, 1999) based on

the weekly mean, compared to a baseline and its relation with psychological parameters as mood states (Sánchez, Romero, and Ortís, 2013) or sleep quality (Myllymäki et al., 2011). Therefore, this work shows the usefulness of resting heart rate variability to assess the body's response and improve performance in sport.

The third research is a case study, which aims two objectives based in the previous results. The first, to evaluate the utility of the HRV to control the stress-recovery process in order to prevent non-functional over-reached states (NFOR). The second, to determine the relationships between HRV, training load and psychological parameters: sleep quality (SQ), mood state and social stress (SS). The sample was composed by one experienced athlete (42 year, 79.2 kg, 182 cm, VO₂max, 43.9 ml / kg / min). Daily HRV, resting heart rate (RHR), daily training load, on the basis of subjective effort perception (RPE) and objective equivalents (ECOs), and psychometric variables were monitored for 25 weeks. The season was divided into three periods according to the competition schedule, each including a preparatory, build up, tapering and competition stage. In the last period, the athlete reported difficulties to complete the trainings, not having good results in the competition of the period. The natural logarithm of the square root of the mean squared difference of successive RR intervals (Ln rMSSD), the number of pairs of successive RR intervals that differ by more than 50 ms (Ln pNN50) and resting heart rate (Ln FCR) were calculated. This transformation was performed based on the recommendations of other authors (Buchheit, 2014) in order to reduce the typical error associated with this type of parameters. The difference between the periods was determined using the one-way ANOVA test. The Sheffé test showed differences in parasympathetic activity (Ln pNN50) when comparing the third period with the first one, detecting a significant reduction ($p < 0.05$). The Welch test reveals, on the other hand, an increase in the Ln RHR in the last period compared to the second. This agrees

with the low sleep quality scores in the last week, in addition to the subsequent results in the competition. Similarly, Pearson's test revealed a negative correlation ($p < 0.01$) between the Ln RHR and sleep quality, and the total score on the mood state scale. This study evidences the utility of HRV as an indicator of the fitness level progression once its interpretation is together with RHR and psychological variables.

In relation to the previous study, the fourth research aims to analyze the capacity of the HRV as a performance predictor and its relationship with the following psychological parameters: sleep quality, self-esteem and mood state. The sample consisted of 9 swimmers (11.7 ± 1.4 years) from Poland, members of a professional academy. Over a period of three weeks, the athletes trained daily and at the end of each week they performed a time keeping of 200 m freestyle, with a previous warm-up. Before the test, they completed the mood state scale (POMS) (Hernandez-Mendo, González, Sánchez, Guillén, and Reigal, 2013), the Rosenberg's self-esteem scale adapted to polish (Dzwnokowska, Lachowicz-Tabaczek and Łaguna, 2008) and sleep quality scale (Kellmann and Kallus, 2001). The Pearson test showed how the anxiety (POMS) correlated negatively with the natural logarithm of high frequency band (Ln HF) and positively with the natural logarithm of the very low frequency band (Ln VLF). However, no relationships were found for the variables self-esteem and sleep quality. On the other hand, the time in the time keeping was negatively associated with indicators of parasympathetic activity. These results suggest that HRV could be a valid performance indicator, and again, this parameter has been associated to psychological variables, in this case anxiety, in agreement with the results of other studies (César, Blásquez, Rhodes, and Ortís, 2009).

Once the previous researches have pointed out some of the physiological and psychological factors involve in performance, also the objective of this doctoral thesis is analyzed strategies for enhancing sport performance, understood from an holistic approach. Therefore, the fifth study aims to examine the effect of regular practice of autogenic training (AT) on lung capacity, subjective vitality and competitive anxiety. The sample consisted of 18 volunteer athletes of medium level who were randomly distributed in two groups: control (n-9) and experimental (n-9). The experimental group was instructed to practice the first step of the AT during 6 weeks. Measurements were performed before and after the intervention. The athletes performed spirometry tests, and completed the subjective vitality and competitive anxiety scales (CSAI-2). The differences between stages was performed using the non-parametric Mann-Whitney U test. The results show a significant increase ($p < 0.001$) in subjective vitality and self-confidence post intervention ($p < 0.001$). No differences were found in the physiological parameters. This research shows that the regular practice of AT may be useful to improve psychological parameters associated with athletic performance.

Finally, while the previous study assesses an improvement strategy, the last work aims to satisfy the objective of creating practical applications for the optimization of sport performance. To this end, a web application has been designed that meets the scientific requirements, since each of its sections has a theoretical basis. The International Periodization Training Method (ITPM) provides a user-driven process for planning, designing, evaluating and controlling the training tasks. The trainer has form-state control tools based on the monitoring of physiological indicators such as HRV and psychological variables such as sleep quality or mood state, in accordance with the results of previous research in this thesis and indications of other authors (Al Haddad, Laursen, Chollet, Ahmaidi, and Buchheit, 2011, Buchheit, 2014, Plews et al., 2012).

This effort places ITPM as the first app to plan and evaluate the stress-recovery process in sport science.

This work, from the first research to the last, supposes an improvement of the understanding of the mechanisms that modulate the performance in competition, besides offering practical applications for its empowerment.

Referencias

- Al Haddad, H., Laursen, P. B., Chollet, D., Ahmaidi, S., y Buchheit, M. (2011). Reliability of resting and postexercise heart rate measures. *International Journal of Sports Medicine*, 32(8), 598–605. <http://doi.org/10.1055/s-0031-1275356>
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 17–19. <http://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>
- César, J., Blásquez, C., Rodas, G., y Ortís, L. C. (2009). Perfil psicofisiológico de rendimiento en nadadores basado en la variabilidad de la frecuencia cardíaca y en estados de ansiedad precompetitiva. *Revista de Psicología Del Deporte*, 18, 37–52.
- Costa, A. M., Marques, M. C., Louro, H., Ferreira, S. S., y Marinho, D. A. (2013). The relative age effect among elite youth competitive swimmers. *European Journal of Sport Science*, 13(5), 437–744. <http://doi.org/10.1080/17461391.2012.742571>
- Dzwnokowska, I., Lachowicz-Tabaczek, K., Łaguna, M. (2008). Samoocena i jej pomiar. Warszawa: PTP.
- Gamelin, F. X., Berthoin, S., y Bosquet, L. (2006). Validity of the Polar S810 Heart Rate Monitor to Measure R-R Intervals at Rest. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(5), 887–893. <http://doi.org/10.1249/01.mss.0000218135.79476.9c>

- Hernández Mendo, A., González, S. L., Morales Sánchez, V., Guillén, F., y Reigal, R. (2013). Evidencias de validez del POMS-6. Huelva: XIV Congreso Andaluz y I Congreso Internacional Luso-Andaluz de Psicología del Deporte y de la Actividad Física.
- Hopkins, W. G., Hawley, J. A., y Burke, L. M. (1999). Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(3), 472–485.
- Kellmann, M., y Kallus, K. W. (2001). Recovery-Stress Questionnaire for Athletes. User Manual. (Human Kine). Champaign.
- Malina, R. M., Bouchard, C., y Bar-Or, O. (2003). *Growth, Maturation y Physical Activity* (2nd ed.) Champaign, Ill: Human Kinetics Pub Inc.
- Mujika, I., Vaeyens, R., Matthys, S. P. J., Santisteban, J., Goiriena, J., y Philippaerts, R. (2009). *The relative age effect in a professional football club setting. Journal of Sports Sciences*, 27(11), 1153–8. <http://doi.org/10.1080/02640410903220328>
- Müller, L., Hildebrandt, C., y Raschner, C. (2015). The Relative Age Effect and the Influence on Performance in Youth Alpine Ski Racing. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14(1), 16–22.
- Myllymäki, T., Kyröläinen, H., Savolainen, K., Hokka, L., Jakonen, R., Juuti, T., ... Rusko, H. (2011). Effects of vigorous late-night exercise on sleep quality and cardiac autonomic activity. *Journal of Sleep Research*, 20, 146–153. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2010.00874.x>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., y Buchheit, M. (2012). Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training A case

comparison. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3729–3741.

<http://doi.org/10.1007/s00421-012-2354-4>

Quintana, D. S., Heathers, J. A. J., y Kemp, A. H. (2012). On the validity of using the Polar RS800 heart rate monitor for heart rate variability research. *European Journal of Applied Physiology*, 112(12), 4179–4180. <http://doi.org/10.1007/s00421-012-2453-2>

Sánchez, J. M., Romero, E. P., y Ortís, L. C. (2013). Variabilidad de la frecuencia cardíaca y perfiles psicofisiológicos en deportes de equipo de alto rendimiento. *Revista de Psicología Del Deporte*, 22(2), 345–352.

Saw, A. E., Main, L. C., y Gatin, P. B. (2015). Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 281-291. <http://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094758>

Capítulo 1:

Marco teórico

1 Capítulo 1: Marco teórico

1.1 Antecedentes

El entrenamiento deportivo es una causa de estrés continuo que pretende producir adaptaciones positivas en el deportista para alcanzar el éxito en la competición. La planificación de este proceso es una tarea compleja dada la gran variedad de factores que intervienen: biomecánicos, psicológicos, técnico-tácticos, antropométricos, morfológicos, bioquímicos o biológico-funcionales (Bompa y Haff, 2009). Tradicionalmente, tanto entrenadores como científicos han centrado su interés en los aspectos fisiológicos que actúan como predictores del rendimiento. Los parámetros cardiovasculares (e.g. frecuencia cardíaca en reposo, presión sistólica, la frecuencia cardíaca máxima o la variabilidad de la frecuencia cardíaca frecuencia), las concentraciones de lactato o el consumo máximo de oxígeno son algunos de los parámetros más utilizados para evaluar este aspecto (Saw et al., 2015).

Sin embargo, el carácter multifactorial del concepto rendimiento precisa ser abordado desde una perspectiva multidisciplinar para explicar las relaciones entre los factores que lo componen. En el caso de los deportes individuales, en concreto las disciplinas de resistencia, la literatura destaca la influencia de los aspectos psicológicos y fisiológicos. Desde un punto de vista psicológico, existen numerosas investigaciones sobre los factores asociados al rendimiento deportivo como el estado de ánimo (Beedie, Terry, y Lane, 2008), la ansiedad (Granada, y Aguirre-Loaiza, 2014; Wolf, Eys, y Kleinert, 2014), la fortaleza mental (Lien, Tambs, Oppedal, Heyerdahl, y Bjertness, 2005), la calidad de sueño (Chennaoui, Arnal, Sauvet, y Léger, 2015), la autoestima

(Esteban-Cornejo, Tejero-Gonzalez, Sallis, y Veiga, 2014), la robustez mental (Sheard y Golby, 2010) o la resiliencia (Sarkar y Fletcher, 2014).

Del mismo modo que sucede con los factores fisiológicos, la gran variedad de constructos psicométricos identificados en el ámbito deportivo dificulta en algunas ocasiones su comprensión e incorporación a la rutina diaria del atleta. Estas características de la personalidad resultan importantes como mecanismos de defensa ante los efectos de los estados emocionales (Lazarus, 2000), como la ansiedad pre-competitiva (Matt, 2006) o un estado de ánimo alterado. El uso de técnicas para mejorar este tipo de capacidades en el deportista podría potenciar las oportunidades de éxito del atleta (McCormick, Meijen, y Marcora, 2015). La consideración del rendimiento como un concepto holístico requiere la integración de estos aspectos de naturaleza psicológica para su comprensión.

Desde un punto de vista biológico, algunos autores han identificado en primer lugar dos factores que condicionan el desarrollo del resto en relación al rendimiento desde nuestro nacimiento: el género (Hautala et al., 2006; Medic, Young, Starkes, Weir, y Grove, 2009; Schäfer et al., 2015) y la edad (Allen y Hopkins, 2015; Malina et al., 2003). En el caso de los indicadores cardiovasculares, varios estudios han identificado la influencia de ambos elementos en parámetros como la frecuencia cardíaca máxima (Nes, Janszky, Wisløff, Støylen, y Karlsen, 2013), la variabilidad de la frecuencia cardíaca (Carter, Banister, y Blaber, 2003) o las diferencias respecto a la respuesta cardiovascular inducidas por el ejercicio (Ciolac, Roberts, Da Silva, y Guimarães, 2014). La relación de estos factores y las capacidades de tipo fisiológico podrían favorecer el éxito deportivo (Malina, 1994).

En esta línea, cuando se compara el rendimiento en grupos de atletas que tienen una edad cronológica común, algunos autores han hallado diferencias que podrían asociarse

con el estado madurativo entre los individuos (Malina et al., 2003). Este fenómeno es conocido en la literatura como el efecto de la edad relativa. La influencia de este factor sobre las capacidades funcionales, y por tanto el rendimiento deportivo, ha sido demostrada recientemente por varios trabajos en disciplinas de resistencia (Costa et al., 2013; Müller et al., 2015). Aunque la incidencia de este efecto parecer disminuir de forma progresiva a medida que se suceden las etapas madurativas (Armstrong, 1966; Malina et al., 2003), su consideración resulta fundamental para entender los resultados en las estructuras competitivas actuales organizadas por rangos de edad (Delorme, Boiché, y Raspaud, 2010), puesto que determina los ritmos de crecimiento y predispone a los atletas para alcanzar el éxito deportivo según sus características antropométricas y fisiológicas (Malina, 1994; Roberts, Boddy, Fairclough, y Stratton, 2012).

Respecto a otros factores biológicos que son monitorizados por los entrenadores para evaluar la progresión del rendimiento deportivo (e.g. concentración de lactato en sangre, perfiles de creatina-quinasa, concentración de cortisol en saliva o frecuencia cardíaca), la literatura no muestra un consenso sobre cuáles son los más adecuados (Saw et al., 2015). Mientras que algunos resultan costosos, otros implican procedimientos como la extracción de muestras sanguíneas que no resultan prácticos para uso frecuente. Por esta razón, algunos autores sugieren la utilización de los índices cardiovasculares dado que permiten recoger información de forma diaria, no-invasiva, eficiente y sin un elevado coste económico (Buchheit, 2014). Achten y Jeukendrup (2003) exponen las ventajas relacionadas con el uso de este tipo de parámetros como su asociación con el consumo máximo de oxígeno, el gasto energético o la intensidad del entrenamiento y también las controversias en su utilización para la detección de estados de fatiga debido a los resultados contradictorios observados en la literatura.

Entre los parámetros asociados a la actividad cardiovascular, recientemente los investigadores han centrado su atención en la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), debido principalmente a que el desarrollo tecnológico ha permitido su incorporación a la investigación de campo en el ámbito deportivo. Otro motivo por el cual ha crecido el interés reside en que este parámetro es considerado como un indicador indirecto del estado de equilibrio del sistema nervioso autónomo (SNA) (Brenner, Thomas, y Shephard, 1998). El análisis de la VFC permite el estudio de las fluctuaciones del sistema nervioso parasimpático (SNP) y el sistema nervioso simpático (SNS) ante estímulos de origen fisiológico o psicológico (Billman, 2011). En esta línea, algunos estudios han mostrado las asociaciones de la VFC con el rendimiento (Garet et al., 2004; Nummela, Hynynen, Kaikkonen, y Rusko, 2010) o estados emocionales (Quintana, Guastella, Outhred, Hickie, y Kemp, 2012) como la ansiedad (César, Blásquez, Rodas, y Ortís, 2009; Morales et al., 2013) o los estados de ánimo (Sánchez, Romero, y Ortís, 2013; Weinstein, Deuster, y Kop, 2007) en contextos deportivos.

El estudio de las relaciones entre los factores que inciden en el rendimiento deportivo desde un enfoque multidisciplinar es esencial para evaluar el estado o progresión del deportista. En este marco, factores como la edad o el género deberían ser considerados principalmente durante las etapas formativas, es decir, la pubertad y la adolescencia (Malina et al., 2003). Aunque la literatura muestra como ambos modulan los parámetros fisiológicos (Carter et al., 2003), la investigación de la VFC y su relación con determinadas variables psicológicas podrían posicionar este parámetro como un instrumento válido para monitorizar de forma cotidiana e individual el estado del atleta en diferentes rangos de edad. No obstante, es necesario ampliar el número de investigaciones con el fin de identificar factores e inter-relaciones asociados al

rendimiento, tratado como un concepto holístico, para permitir el diseño de métodos de intervención que favorezcan el éxito en la competición.

1.2 Objetivos generales

De acuerdo con los antecedentes, la gran variedad de factores desde una perspectiva multidisciplinar, psicológica y fisiológica, dificulta la identificación de indicadores útiles relacionados con el rendimiento deportivo para su uso frecuente. En esta línea, este conjunto de trabajos posee dos propósitos:

1. Examinar los factores psicológicos e indicadores cardiovasculares asociados al rendimiento en deportes de resistencia.
2. Determinar aplicaciones prácticas para la evaluación y control de los factores psicológicos e indicadores cardiovasculares asociados al rendimiento en deportes de resistencia.

1.3 Objetivos específicos

Para el cumplimiento de los objetivos anteriores, se han establecido los siguientes:

1. Identificar los correlatos cardiovasculares y psicológicos del rendimiento en deportes de resistencia.
2. Evaluar la utilidad de monitorizar diariamente las variables psicológicas e indicadores cardiovasculares durante el proceso de entrenamiento.
3. Relacionar la variabilidad de la frecuencia cardíaca y las variables psicológicas determinantes del rendimiento.

4. Comparar el uso de la variabilidad de la frecuencia cardíaca y la frecuencia cardíaca reposo como instrumentos de control de los procesos adaptativos.

5. Evaluar los efectos del entrenamiento autógeno como herramienta psicológica sobre la ansiedad pre-competitiva y la vitalidad subjetiva.

6. Analizar la relación entre las variables psicológicas e indicadores cardiovasculares con el rendimiento deportivo.

7. Crear una aplicación web dirigida a los entrenadores para facilitar el uso de instrumentos de control de los determinantes fisiológicos y psicológicos del rendimiento en deportes de resistencia.

1.4 Organización de la tesis doctoral

El propósito de esta tesis doctoral es determinar los factores de naturaleza psicológica y fisiológica asociados al rendimiento para su uso frecuente en las tareas de monitorización e intervención para alcanzar éxito deportivo. Este trabajo contiene 9 capítulos que exponen los antecedentes, objetivos, investigaciones realizadas, una revisión de literatura sobre la utilización de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en el ámbito deportivo y consideraciones metodológicas para su aplicación, aplicaciones prácticas, conclusiones, memoria de la estancia internacional, y anexos.

1.5 Estructura de las investigaciones

Estudio 1

En línea con los antecedentes, el objetivo de este trabajo fue examinar el efecto de la edad relativa sobre los resultados obtenidos por un grupo de triatletas durante el proceso de selección con el fin de identificar su influencia y de esa forma, reducir una posible pérdida significativa de atletas capacitados. Para ello, se analizó el efecto de las

diferencias en la edad cronológica y género sobre los resultados de las pruebas de selección nacional de triatletas durante las temporadas 2013-2015. La publicación de este artículo está prevista en el primer volumen de Enero de 2017 en la Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (RIMCAFD).

Estudio 2-3

Una vez identificada la influencia los factores biológicos, edad y género, sobre el rendimiento deportivo en el primer estudio, el propósito de esta investigación fue examinar los índices cardiovasculares y el reciente uso de la variabilidad de la frecuencia cardíaca como marcador indirecto del funcionamiento del sistema nervioso autónomo. Para ello se realizó en primer lugar una revisión narrativa, la cual está pendiente de publicación en la Revista Iberoamericana de Psicología del Ejercicio y del Deporte (RIPED).

En el tercer estudio se analizó la asociación de la VFC con el rendimiento en 9 nadadores jóvenes previamente a la realización de simulaciones de competición realizadas en tres ocasiones en un período de tres semanas de entrenamiento. Del mismo modo, se analizaron las relaciones entre este parámetro y las variables psicológicas incluidas en el estudio: calidad de sueño, estados de ánimo y autoestima. Este trabajo está pendiente de publicación en la revista Anales de Psicología.

Estudio 4-5

En concordancia con el segundo objetivo de esta tesis doctoral y tras el análisis de las variables desde una perspectiva multifactorial que inciden en el rendimiento deportivo, fueron diseñadas dos investigaciones con el fin de establecer estrategias de intervención y control de la progresión del rendimiento en base a los factores hallados

en los estudios anteriores. En el primer caso, se estableció un método de control para un atleta de pruebas de ultra-resistencia en base a la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC). El propósito de esta investigación fue comprobar la eficacia de la VFC para detectar y prevenir estados que pudieran tener un efecto negativo sobre el rendimiento deportivo, así como analizar las relaciones entre la modulación del sistema nervioso autónomo y las variables psicológicas analizadas: calidad de sueño, estados de ánimo y estrés social. Este trabajo se encuentra en revisión en la Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (RIMCAFD).

En el segundo caso, fue realizada una intervención para comprobar el efecto de los determinantes psicológicos del rendimiento, en este caso las técnicas de auto-sugestión, sobre la ansiedad pre-competitiva y la vitalidad subjetiva. En esta investigación participaron 16 triatletas que fueron divididos en dos grupos: experimental y control. Durante un período de cuatro semanas el grupo experimental fue instruido en el primer paso del entrenamiento autógeno. Los atletas participaron en los días previos al inicio del programa en un triatlón sprint. Del mismo modo, en la última semana de intervención participaron en un triatlón de características similares para identificar las diferencias entre ambos grupos. Esta investigación ha sido publicada en la revista Biomedical Research en 2015.

1.6 Implicaciones prácticas: *International Periodization Training Method*

Las investigaciones desarrolladas en esta tesis doctoral tuvieron como fin identificar los factores psicológicos y fisiológicos relacionados con el rendimiento, así como desarrollar estrategias de intervención prácticas que puedan incorporarse a la rutina del

atleta para aumentar las oportunidades de alcanzar el éxito deportivo. Como muestran los estudios, los hallazgos podrían derivar en implicaciones prácticas en el ámbito deportivo. Por esta razón, fue diseñada una aplicación web para facilitar, tanto a entrenadores como científicos, las tareas relacionadas con la planificación deportiva e integración de métodos de control de la progresión del estado de forma (e.g. fisiológicos a través de la variabilidad de la frecuencia cardíaca) además de analizar de forma complementaria la evolución de determinadas variables psicométricas, en base a las evidencias científicas. Por otro lado, permite la recogida sistemática de datos para continuar esta línea de investigación con el fin de aumentar la comprensión sobre los factores determinantes del rendimiento deportivo.

1.7 Referencias

- Alberto, J., Granada, A., y Aguirre-Loaiza, H. H. (2014). Ansiedad estado a lo largo de las fases de competencia deportiva. [Anxiety state throughout sports competition]. *Revista lúdico pedagógica*, 19(1), 111–121.
- Allen, S. V, y Hopkins, W. G. (2015). Age of Peak Competitive Performance of Elite Athletes: A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(10), 1431–1441. <http://doi.org/10.1007/s40279-015-0354-3>
- Armstrong, H. G. (1966). A comparison of the performance of summer and autumn-born children at eleven and sixteen. *British Journal of Educational Psychology*, 36(1), 72–76. <http://doi.org/10.1111/j.2044-8279.1966.tb01841.x>
- Beedie, C. J., Terry, P. C., y Lane, A. M. (2008). The profile of mood states and athletic performance: Two meta-analyses. *Journal of Applied Sport Psychology*.

- Billman, G. E. (2011). Heart rate variability - A historical perspective. *Frontiers in Physiology*, 2, 1–13. <http://doi.org/10.3389/fphys.2011.00086>
- Bompa, T., y Haff, G. G. (2009). *Periodization: Theory and Methodology of Training* (5th ed.). Hardback.
- Brenner, I. K., Thomas, S., y Shephard, R. J. (1998). Autonomic regulation of the circulation during exercise and heat exposure. Inferences from heart rate variability. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 26(2), 85–99.
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 17–19. <http://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>
- Carter, J. B., Banister, E. W., y Blaber, A. P. (2003). The effect of age and gender on heart rate variability after endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(8), 1333–1340. <http://doi.org/10.1249/01.MSS.0000079046.01763.8F>
- César, J., Blásquez, C., Rodas, G., y Ortís, L. C. (2009). Perfil psicofisiológico de rendimiento en nadadores basado en la variabilidad de la frecuencia cardíaca y en estados de ansiedad precompetitiva. *Revista de Psicología Del Deporte*, 18, 37–52.
- Chennaoui, M., Arnal, P. J., Sauvet, F., y Léger, D. (2015). Sleep and exercise: a reciprocal issue? *Sleep Medicine Reviews*, 20, 59–72. <http://doi.org/10.1016/j.smr.2014.06.008>
- Ciolac, E. G., Roberts, C. K., Da Silva, J. M. R., y Guimarães, G. V. (2014). Age affects exercise-induced improvements in heart rate response to exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 35(5), 371–378. <http://doi.org/10.1055/s-0033-1351332>
- Costa, A. M., Marques, M. C., Louro, H., Ferreira, S. S., y Marinho, D. A. (2013). The relative age effect among elite youth competitive swimmers. *European Journal of Sport Science*, 13(5), 437–444. <http://doi.org/10.1080/17461391.2012.742571>

- Delorme, N., Boiché, J., y Raspaud, M. (2010). Relative age effect in elite sports: Methodological bias or real discrimination? *European Journal of Sport Science*, 10(2), 91–96. <http://doi.org/10.1080/17461390903271584>
- Esteban-Cornejo, I., Tejero-González, C. M., Sallis, J. F., y Veiga, O. L. (2014). Physical activity and cognition in adolescents: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 18(5), 534–539. <http://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.07.007>
- Garet, M., Tournaire, N., Roche, F., Laurent, R., Lacour, J. R., Barthélémy, J. C., y Pichot, V. (2004). Individual Interdependence between nocturnal ANS activity and performance in swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(12), 2112–2118.
- Hautala, A. J., Kiviniemi, A. M., Mäkikallio, T. H., Kinnunen, H., Nissilä, S., Huikuri, H. V., y Tulppo, M. P. (2006). Individual differences in the responses to endurance and resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, 96(5), 535–542. <http://doi.org/10.1007/s00421-005-0116-2>
- Lazarus, R. S. (2000). How emotions influence performance in competitive sports. *The Sport Psychologist*, 14(3), 229–252.
- Lien, L., Tambs, K., Oppedal, B., Heyerdahl, S., y Bjertness, E. (2005). Is relatively young age within a school year a risk factor for mental health problems and poor school performance? A population-based cross-sectional study of adolescents in Oslo, Norway. *BMC Public Health*, 5, 102. <http://doi.org/10.1186/1471-2458-5-102>
- Malina, R. M. (1994). Physical growth and biological maturation of young athletes. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 22, 389–433.
- Malina, R. M., Bouchard, C., y Bar-Or, O. (2003). *Growth, Maturation y Physical Activity* (2nd ed.) Champaign, Ill: Human Kinetics Pub Inc.

- Matt, J. (2006). *Sport Psychology: A Student's Handbook*. Routledge.
- McCormick, A., Meijen, C., y Marcora, S. (2015). Psychological Determinants of Whole-Body Endurance Performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(7), 997–1015. <http://doi.org/10.1007/s40279-015-0319-6>
- Medic, N., Young, B. W., Starkes, J. L., Weir, P. L., y Grove, J. R. (2009). Gender, age, and sport differences in relative age effects among US Masters swimming and track and field athletes. *Journal of Sports Sciences*, 27(14), 1535–1544. <http://doi.org/10.1080/02640410903127630>
- Morales, J., Garcia, V., García-Massó, X., Salvá, P., Escobar, R., y Buscà, B. (2013). The use of heart rate variability in assessing precompetitive stress in high-standard judo athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 34(2), 144–151. <http://doi.org/10.1055/s-0032-1323719>
- Müller, L., Hildebrandt, C., y Raschner, C. (2015). The Relative Age Effect and the Influence on Performance in Youth Alpine Ski Racing. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14(1), 16–22.
- Nes, B. M., Janszky, I., Wisløff, U., Støylen, A., y Karlsen, T. (2013). Age-predicted maximal heart rate in healthy subjects: The HUNT Fitness Study. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 23(6), 697–704. <http://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01445.x>
- Nummela, A., Hynynen, E., Kaikkonen, P., y Rusko, H. (2010). Endurance performance and nocturnal HRV indices. *International Journal of Sports Medicine*, 31(3), 154–159. <http://doi.org/10.1055/s-0029-1243221>
- Quintana, D. S., Guastella, A. J., Outhred, T., Hickie, I. B., y Kemp, A. H. (2012). Heart rate variability is associated with emotion recognition: Direct evidence for a relationship between the autonomic nervous system and social cognition.

- International Journal of Psychophysiology*, 86(2), 168–172.
<http://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.08.012>
- Roberts, S. J., Boddy, L. M., Fairclough, S. J., y Stratton, G. (2012). The influence of relative age effects on the cardiorespiratory fitness levels of children age 9 to 10 and 11 to 12 years of age. *Pediatric Exercise Science*, 24(1), 72–83.
- Sánchez, J. M., Romero, E. P., y Ortís, L. C. (2013). Variabilidad de la frecuencia cardíaca y perfiles psicofisiológicos en deportes de equipo de alto rendimiento. *Revista de Psicología Del Deporte*, 22(2), 345–352.
- Sarkar, M., y Fletcher, D. (2014). Psychological resilience in sport performers: a review of stressors and protective factors. *Journal of Sports Sciences*, 32(15), 1–16.
<http://doi.org/10.1080/02640414.2014.901551>
- Saw, A. E., Main, L. C., y Gatin, P. B. (2015). Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 281–291.
<http://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094758>
- Schäfer, D., Gjerdalen, G. F., Solberg, E. E., Khokhlova, M., Badtieva, V., Herzig, D., ... Wilhelm, M. (2015). Sex differences in heart rate variability: a longitudinal study in international elite cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology*, 115, 2107–2114. <http://doi.org/10.1007/s00421-015-3190-0>
- Sheard, M., y Golby, J. (2010). Personality hardiness differentiates elite-level sport performers. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 8(2), 160–169.
<http://doi.org/10.1080/1612197X.2010.9671940>
- Weinstein, A. A., Deuster, P. A., y Kop, W. J. (2007). Heart Rate Variability as a Predictor of Negative Mood Symptoms Induced by Exercise Withdrawal. *Medicine*

and Science in Sports and Exercise, 39(4), 735–741.

<http://doi.org/10.1249/mss.0b013e31802f590c>

Wolf, S. A., Eys, M. A., y Kleinert, J. (2014). Predictors of the precompetitive anxiety response: Relative impact and prospects for anxiety regulation. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 13, 344-358.

Capítulo 2

Efectos de la edad relativa en el proceso de selección nacional de triatlón

2 Capítulo 2: Efectos de la edad relativa en el proceso de selección nacional en triatlón

2.1 Resumen

El objetivo de este estudio fue analizar el efecto de la edad relativa (RAE) en el proceso de selección nacional de triatletas ($n = 1321$) durante las temporadas 2013-2015. La muestra fue dividida por categorías y sexo. Cada una fue subdividida en 4 cuartiles según la fecha de nacimiento. Las diferencias fueron analizadas mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis. Para la comparación múltiple se utilizó U de Mann Whitney. Los resultados mostraron que el rendimiento en las pruebas analizadas presentaba una mejor tendencia en aquellos deportistas nacidos en el primer cuartil del año para el sexo masculino. En esta línea, los atletas nacidos en la última parte mostraron un peor rendimiento general. Estos resultados fueron menos consistentes para el sexo femenino. Este trabajo ha puesto de manifiesto la influencia del RAE en los procesos de identificación de talentos y la estructura competitiva, sugiriendo su consideración en los procesos de selección.

2.2 Introducción

En numerosas estructuras sociales, la fecha de nacimiento es el factor que determina el ingreso de los individuos en niveles de edad concretos. Este proceso puede generar grupos heterogéneos en determinados ámbitos debido a la diferencia de meses que puede existir (Delorme, Boiché y Raspaud, 2010a) a pesar de estar identificados bajo el mismo rango de edad. Las consecuencias que se infieren de esta disparidad se conoce como el efecto de la edad relativa (RAE: Relative age effect). La literatura ofrece evidencias de

este fenómeno sobre el ámbito escolar, observándose cómo la estacionalidad de nacimiento muestra una clara relación con la probabilidad de éxito académico (Freyman, 1965; Jinks, 1964; Lien, Tambs, Oppedal, Heyerdahl y Bjertness, 2005; Sprietsma, 2007; Williams, 1964).

Diversos trabajos han puesto de manifiesto la incidencia del RAE en los procesos de aprendizaje en edades tempranas. Williams (1964) analizó la proporción de alumnos con dificultades en los procesos de aprendizaje en una muestra de 265 niños de educación primaria, siendo mayor en aquellos que nacieron en la segunda mitad de año (Mayo-Diciembre). En un estudio posterior, Freyman (1965) obtuvo un resultado similar en una muestra de 364 niños británicos de educación primaria. El 46.7% de los alumnos que presentaban este tipo de dificultades nacieron entre los meses de Mayo y Agosto. Sprietsma (2007) realizó una comparación internacional del RAE utilizando el informe PISA 2003 en los primeros años de educación. Este análisis mostró una clara presencia de este efecto a lo largo del proceso educativo en 10 de los 16 países analizados.

En el ámbito deportivo se justifican los mismos sistemas de agrupación que en el sistema educativo con el objetivo de igualar las oportunidades durante el período de formación y competición (Musch y Grondin, 2001). Sin embargo, los errores de este mecanismo de balanceo se reflejan en la posible diferencia de edad entre dos deportistas que se encuentran compitiendo en la misma categoría, pudiendo extenderse hasta 23 meses si no hubieran nacido en el mismo año, o hasta 11 meses en el caso de que nacieran en el mismo año (Delorme et al., 2010a). Campo (2013) manifestó como precisamente el sistema de categorías cada dos años establecido en muchos deportes actúa como un potenciador del RAE. La relación de las capacidades físicas con el éxito deportivo (Malina, 1994) argumenta la ventaja que los atletas, dependiendo de su fecha de nacimiento, podrían poseer frente a otros (Campo, 2013).

La mayoría de los estudios han analizado el efecto de este fenómeno desde las etapas de iniciación deportiva (10-11 años) hasta las que forman la élite (16-18 años), demostrando la presencia del RAE en estas fases. Estas diferencias intra-categorías podrían deberse a la relación entre las capacidades funcionales y antropométricas del individuo y los ritmos madurativos (Malina, Bouchard y Bar-Or, 2003; Morrison, Smith y Dow-Ehrensberger, 1995). Esta hipótesis, la más extendida, coincide con la disminución progresiva de este efecto a medida que se suceden las etapas de crecimiento (Armstrong, 1966) hasta llegar a la élite.

Los autores han estudiado este fenómeno en numerosos deportes de equipo, destacando el fútbol y el hockey sobre hielo por encima de todos. Nolan y Howell (2010) manifestaron cómo en varios equipos de hockey sub-21, en jugadores nacidos durante la primera parte del año (Enero-Junio) no sólo resultaba más probable que alcanzaran la élite, sino que además presentaban menores niveles de abandono deportivo. Mujika et al. (2009) hallaron resultados similares en fútbol, analizando el RAE en la estructura de la escuela de fútbol del AC. Bilbao, desde categorías inferiores (10-11 años) hasta las que finalmente forman la élite (16-18 años) en una muestra de 13.519 deportistas. Los resultados mostraron que una mayor proporción de jugadores seleccionados habían nacido en los primeros tres meses del año de selección, desde los niveles inferiores hasta los superiores. Dichos efectos ya fueron observados en estudios anteriores en este deporte (Helsen, Starkes y Van Winckel, 1998; Salinero, Pérez, Burillo, Lesma y Herrero, 2015), alertando de una posible pérdida significativa de talento deportivo en futbolistas jóvenes (Mujika et al., 2009) debido a la sensibilidad de las etapas de formación deportivas (10-18 años) al RAE.

En el caso de los deportes individuales, Costa, Marques, Louro, Ferreira y Marinho (2013) observaron el RAE en el top 50 de nadadores portugueses desde los 12 hasta los 18 años, encontrando una distribución asimétrica que presentaba un mayor número de nadadores nacidos entre el primer cuartil (Enero-Marzo) y el segundo cuartil (Abril-Junio) del año. Este hallazgo se relacionó sólo con el sexo masculino (Costa et al., 2013). Similar resultado arrojó el estudio de Medic, Young, Starkes, Weir y Grove (2009) aunque a diferencia de los anteriores el RAE aumentaba con la edad de los atletas. Este hecho contrasta con lo establecido por Armstrong (1966) sobre la disminución progresiva del efecto a medida que se suceden las etapas madurativas. En su revisión, Mush y Grondin (2001) no dudaron en calificar al RAE como “efecto discriminatorio” puesto que la identificación de la denominada “promesa” deportiva podría estar condicionada por este factor, perjudicando a los atletas cuyo nacimiento se produce en fechas más tardías del año (Delorme et al., 2010b).

La literatura científica indica como el RAE está presente a lo largo de los procesos de selección (Costa et al., 2013; Mujika et al., 2009) o abandono (Delorme et al., 2010a) durante el período de instrucción y desarrollo deportivo, sugiriendo una posible pérdida de atletas capacitados. Por tanto, su existencia supone un problema evidente en la aplicación de programas de detección de talentos dado que los procesos de identificación podrían excluir a individuos sólo debido a este factor.

Por otro lado, son escasas las investigaciones que tratan la influencia del RAE directamente sobre los procesos de selección (Carling, Le Gall, Reilly y Williams, 2009; Deprez, Vaeyens, Coutts, Lenoir y Philippaerts, 2012). Este hecho puede ser debido a la dificultad de acceso a una muestra amplia en este tipo de pruebas y situaciones tan variadas. Debido a estas razones, es necesario comprender adecuadamente las variables y el contexto específico de cada deporte. Este conocimiento en profundidad permitiría

tomar medidas en las diferentes instituciones para implementar programas de intervención, tal y como sugieren algunos autores (Campo, 2013), dirigidos a reducir el sesgo poblacional a favor de aquellos atletas con una maduración prematura.

Aún lejos de considerarse un deporte mayoritario, el triatlón ha experimentado un crecimiento del número de licencias en el último lustro, atrayendo cada vez más atletas jóvenes. Además de los sistemas de categorías cada dos años, se han identificado otros potenciadores del RAE como el aumento del nivel competitivo, la especialización temprana o la popularidad del deporte (Campo, 2013). Estos elementos ponen en riesgo el adecuado funcionamiento de los procesos de identificación de talentos y por tanto, es necesario el análisis de su estructura organizativa, tal y como exponen algunos autores para otros deportes (Horn y Okumura, 2011).

En base a los estudios precedentes descritos, el propósito de esta investigación fue analizar el efecto de la RAE sobre los resultados del proceso de selección nacional en triatletas.

2.3 Material y método

Muestra

La muestra estuvo compuesta por un total de 1.321 triatletas, 919 ($16,75 \pm 1,30$ años) hombres y 402 mujeres ($16,3 \pm 1,10$ años). Para ambos sexos, las edades estuvieron comprendidas entre los 15-19 años ($16,61 \pm 1,26$ años). Los deportistas fueron divididos acordes con los grupos de edad que ofrece el sistema de categorías de 2015 de la Federación Española de Triatlón (FETRI). Entre los años 2013 y 2015, para el sexo masculino participaron: 198, 217 y 225 triatletas cadetes ($16,04 \pm 0,82$ años) de primer, segundo y tercer año respectivamente; y 174 y 105 triatletas de categorías junior ($18,38$

$\pm 0,48$ años) de primer y segundo año. Para el sexo femenino: 116, 134 y 88 cadetes ($15,94 \pm 0,78$ años) de primer, segundo y tercer año respectivamente; y 51 y 13 de categorías junior ($18,20 \pm 0,40$ años) de primer y segundo año.

Procedimiento

Para este fin, la FETRI facilitó los datos retrospectivos de las pruebas de selección nacional desde 2013 a 2015. De acuerdo con el Informe de Belmont y la competencia reguladora (“National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research. The Belmont Report: Ethical Principles and Guidelines for the Protection of Human Subjects Research,” 1978), no es necesario obtener el consentimiento informado de los participantes debido a que los datos analizados en este estudio son de dominio público. En concordancia con este informe, que describe los principios éticos básicos; así como el marco de actuación en la investigación con humanos, se ha desarrollado esta investigación.

El proceso de selección incluye la realización de tomas de tiempo estilo libre para 100 m y 1000 m en la disciplina de natación; y 400 m y 1000 m en la disciplina de carrera realizadas en una pista de atletismo. La ejecución y organización es llevada a cabo por las Federaciones Autonómicas que transfieren los resultados al organismo nacional. El rendimiento en las tomas de tiempo se transforma en puntuaciones específicas acordes a un baremo establecido por la FETRI. Esta conversión permite la comparación del rendimiento de los integrantes en un determinado grupo de edad y es utilizada para la detección de talentos deportivos. Esta investigación también analiza los tiempos realizados en segundos para ambos sexos con el fin de garantizar una mayor precisión en los resultados y permitir añadir o comparar los datos con el de otras investigaciones. Dicha convocatoria se inicia cada año en Enero, finalizando a principios

del mes de Febrero. Por tanto, el primer mes corresponde con la fecha de inicio del proceso de selección (Iñigo Mujika et al., 2009), que en este caso coincide con el primer mes del año natural. De esta forma, consideramos el último mes como Diciembre. Así obtenemos la subdivisión del año en cuatro cuartiles: primer cuartil (Q1) – nacidos entre Enero y Marzo; segundo cuartil (Q2) – nacidos entre Abril-Junio; tercer cuartil (Q3) – nacidos entre Julio-Septiembre; cuarto cuartil (Q4) – nacidos entre Octubre-Diciembre. Esta subdivisión se realiza con objeto de agrupar a los atletas según su fecha de nacimiento y analizar el efecto de la edad relativa.

Análisis estadístico

Se efectuaron análisis descriptivos e inferenciales. Para comprobar el efecto de la edad relativa sobre las variables dependientes utilizadas en el proceso de selección (marca en las pruebas de 100m y 1000m en natación -NA100 y NA1000 respectivamente-, en las pruebas de 400m y 1000m en pista de atletismo -CC400 y CC1000- y por último en la puntuación total obtenida del baremo -PT-) se utilizó la prueba no paramétrica de Krustal-Wallis. Para la comparación múltiple entre cuartiles se utilizó la prueba *U* de Mann-Whitney, ajustando el nivel alfa por el procedimiento de Bonferroni (α/n° comparaciones), en este caso $p= 0,05/6$; $p= 0,0083$. Además, para medir el tamaño del efecto del RAE se utilizó *d* de Cohen (1988). Se usó el programa estadístico SPSS v.21 OS-X para el procesamiento de los datos.

2.4 Resultados

En primer lugar, cabe destacar que no se hallaron diferencias significativas en la distribución de la muestra entre grupos para ambas condiciones, categoría y sexo.

Respecto al rango de asimetría y curtosis intra-categorico, el análisis estadístico arrojó valores entre -3,68 y 2,56; -1,96 y 20,56, respectivamente. Así mismo, los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk no fueron adecuados ($p < 0,05$) para cada una de las categorías femeninas y categorías junior en ambos sexos. Respecto a las categorías masculinas, los valores de Kolmogorov-Smirnov no cumplieron el supuesto de normalidad en la mayoría de los casos ($p < 0,05$).

La Tabla 1 muestra los datos del análisis para el sexo masculino distribuidos por categorías para cada cuartil y la comparación de pares de grupo. La frecuencia de triatletas que participaron es similar entre cuartiles; siendo algo menor entre aquellos nacidos en Octubre-Diciembre (Q4). Sin embargo, en todas las categorías exceptuando JN2 se hallaron diferencias significativas entre los pares Q1 y Q4 en alguna de las pruebas realizadas. En todos los casos el rendimiento es mayor en los triatletas nacidos en la primera parte del año (Q1). Además, se observa como las categorías cadete son más sensibles al RAE que las junior. No se observó influencia del RAE en ninguna de las pruebas analizadas para la categoría JN2. Este hecho podría ser debido al menor tamaño muestral en este caso.

Los resultados intra-categoricos para el sexo femenino (Tabla 2) no se muestran tan consistentes; aunque sí se observan algunas diferencias significativas en la comparación entre cuartiles. Según los resultados para este sexo, las pruebas de natación –NA100 y NA1000- podrían ser más sensibles al RAE (*e.g.*, CD2 –Q3vsQ4-) que las pruebas de atletismo –CC400 y CC1000m-.

Tabla 1. Comparación intra-categoría masculina entre cuartiles de nacimiento

	Q1 <i>M ± SD</i>	Q2 <i>M ± SD</i>	Q3 <i>M ± SD</i>	Q4 <i>M ± SD</i>	K-W	Q1 vs Q2	Q1 vs Q3	Q1 vs Q4	Q2 vs Q3	Q2 vs Q4	Q3 vs Q4
CD1 (n)	56	55	41	46							
NA100	69,4 ± 7,3	70,6 ± 8,3	73,2 ± 10,7	71,8 ± 10	2,91	-	-	-	-	-	-
NA1000	891,1 ± 132,1	888,9 ± 124,7	919,6 ± 131,2	905,7 ± 140	1,31	-	-	-	-	-	-
CC400m	67,8 ± 8,4	69 ± 7,1	70,5 ± 6,8	71,2 ± 7,1	10,52 ^b	-	-2,47 ^{a1}	-2,90 ^{a1}	-	-	-
CC1000m	199,6 ± 23,8	199,7 ± 18,6	207,3 ± 21	205,3 ± 18,9	7,39	-	-	-	-	-	-
PT	13,6 ± 13,1	11,2 ± 10,6	7,9 ± 8,6	9 ± 8,5	4,31	-	-	-	-	-	-
CD2 (n)	56	60	57	44							
NA100	69,4 ± 12,1	69,4 ± 7,6	69,8 ± 6,3	69,5 ± 6,6	3,41	-	-	-	-	-	-
NA1000	882,3 ± 152,8	896,3 ± 121,8	904,8 ± 113,7	884,7 ± 104,6	2,35	-	-	-	-	-	-
CC400m	63,9 ± 5,3	65,5 ± 4,9	65,8 ± 6	68,8 ± 7,5	14,66 ^b	-	-	-3,60 ^{a2}	-	-	-
CC1000m	188,6 ± 16,8	193,7 ± 16,1	194,3 ± 15,4	201,1 ± 19,5	10,87 ^c	-	-	-3,20 ^{a2}	-	-	-
PT	18 ± 12,7	12,1 ± 10,5	10,6 ± 9,6	9,7 ± 9,7	14,58 ^b	-2,59 ^{a2}	-	-3,27 ^{a2}	-	-	-
CD3 (n)	57	59	62	47							
NA100	65,6 ± 7,2	66,6 ± 5,7	66 ± 5,9	67,8 ± 6,2	6,06	-	-	-	-	-	-
NA1000	839,8 ± 125	859,5 ± 101,8	868,5 ± 104,7	903,2 ± 117	9,76 ^b	-	-	-2,92 ^{a2}	-	-	-
CC400m	62,4 ± 4,2	62,9 ± 4,2	63 ± 5,2	63,8 ± 4	5,13	-	-	-	-	-	-
CC1000m	183,4 ± 13,1	186,8 ± 14,8	187,1 ± 19	189,8 ± 13,7	6,31	-	-	-	-	-	-
PT	21,4 ± 11,7	17,6 ± 11,4	18,8 ± 9,2	14,1 ± 9,2	12,16 ^b	-	-	-1,92 ^{a2}	-	-	-
JN1 (n)	44	45	51	34							
NA100	62,8 ± 11,3	65,5 ± 6,5	67,7 ± 9,1	66,8 ± 7,8	3,20	-	-	-	-	-	-
NA1000	823 ± 105,1	857,7 ± 116,3	877,5 ± 137,9	860,2 ± 133,4	4,02	-	-	-	-	-	-
CC400m	61,7 ± 4,4	61,5 ± 4,1	61,4 ± 3,8	64,3 ± 5,1	8,96 ^c	-	-	-2,43 ^{a2}	-	-2,59 ^{a2}	-
CC1000m	179,7 ± 13,9	182 ± 12,8	184,9 ± 16,3	186,5 ± 13,8	4,90	-	-	-	-	-	-
PT	20,5 ± 11,7	18,2 ± 12,1	17,4 ± 10,9	15 ± 12,1	4,20	-	-	-	-	-	-
JN2 (n)	26	34	23	22							
NA100	63,8 ± 6,3	66,2 ± 10	65,4 ± 8,1	64,6 ± 5,6	0,65	-	-	-	-	-	-
NA1000	825,7 ± 109,9	856,9 ± 131,6	837,8 ± 118,5	842,7 ± 101,8	0,78	-	-	-	-	-	-
CC400m	60,5 ± 3,3	61,6 ± 4,3	61,4 ± 3,6	62,5 ± 3,8	3,46	-	-	-	-	-	-
CC1000m	175 ± 12,5	179,4 ± 15,1	180,4 ± 14,1	181,8 ± 12,1	4,04	-	-	-	-	-	-
PT	22,6 ± 11	19,1 ± 12,2	19,9 ± 11,3	17,7 ± 9,9	2,26	-	-	-	-	-	-

Nota: ^a $p < 0,001$; ^b $p < 0,01$; ^c $p < 0,05$ (Kruskal-Wallis test). * $p < 0,0083$ (U Mann-Whitney test. Nivel de significación ajustado por el procedimiento de Bonferroni). ^{1 2 3} indican la magnitud del tamaño del efecto del RAE (d de Cohen: ¹ pequeño: $d > 0,20$, ² moderado: $d > 0,50$, ³ grande: $d > 0,80$); CD1 = Cadete de primer año; CD2: Cadete de segundo año; CD3: Cadete de tercer año; JN1: Junior de primer año; JN2: Junior de segundo año

La tabla 3 revela las diferencias significativas intra-sexo entre cuartiles. Para este análisis se obtuvieron valores asimetría situados entre -0,04 y 2,52; y curtosis entre -1,12 y 13,44. Los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov no fueron adecuados en la mayoría de los casos ($p < 0,05$) para las variables de rendimiento en los diferentes cuartiles. Los resultados muestran que el sexo masculino parece más sensible al RAE. También se observa como el rendimiento es menor en los triatletas nacidos en la última parte del año (Q4) debido a que se hallaron diferencias significativas para todas las variables analizadas entre los atletas masculinos nacidos en el primer cuartil (Q1) y los demás (Q2, Q3 y Q4), exceptuando la variable CC400m en Q1vsQ3. Del mismo modo que se observa como el rendimiento disminuye progresivamente desde Q1 hasta Q4 en

el sexo masculino, los resultados para el sexo femenino no se muestran de la misma forma. En este último caso no se hallaron diferencias significativas.

Tabla 2. Comparación intra-categoría femenina entre cuartiles de nacimiento.

	Q1 <i>M ± SD</i>	Q2 <i>M ± SD</i>	Q3 <i>M ± SD</i>	Q4 <i>M ± SD</i>	K-W	Q1 vs Q2	Q1 vs Q3	Q1 vs Q4	Q2 vs Q3	Q2 vs Q4	Q3 vs Q4
CD1 (<i>n</i>)	38	34	21	23							
NA100	75,6 ± 10,9	75,9 ± 7,3	78,4 ± 12,7	72,4 ± 5,8	2,96	-	-	-	-	-	-
NA1000	937,4 ± 120,4	949 ± 105,5	940,5 ± 156,9	883,4 ± 78	4,26	-	-	-	-	-	-
CC400m	79 ± 11,4	76,5 ± 7,3	76,9 ± 7,4	78,2 ± 9	0,93	-	-	-	-	-	-
CC1000m	234,6 ± 33,8	224,2 ± 23,7	224,9 ± 22,3	228 ± 28,5	2,06	-	-	-	-	-	-
PT	16,9 ± 13,9	16,2 ± 11,5	20,4 ± 15,6	19,7 ± 13	1,62	-	-	-	-	-	-
CD2 (<i>n</i>)	38	35	29	32							
NA100	75,7 ± 9	73 ± 6,2	77,7 ± 8,1	73 ± 8,3	8,02 ^c	-	-	-	-2,43 ^{a2}	-	-2,40 ^{a2}
NA1000	942,5 ± 129,9	908,8 ± 96	976,4 ± 121,9	896,1 ± 114,3	8,35 ^c	-	-	-	-	-	-2,62 ^{a2}
CC400m	77,3 ± 7,4	77,4 ± 7,9	80,1 ± 8,2	74,7 ± 6,3	3,67	-	-	-	-	-	-
CC1000m	227,3 ± 25,6	229,2 ± 25,2	234,9 ± 25,8	223 ± 25,3	1,77	-	-	-	-	-	-
PT	15,1 ± 12,4	16,7 ± 13,3	11,1 ± 10,5	18,9 ± 14,2	6,32	-	-	-	-	-	-
CD3 (<i>n</i>)	26	24	16	22							
NA100	74,3 ± 8,3	72,7 ± 7,1	72,7 ± 4,4	73,8 ± 7,9	0,49	-	-	-	-	-	-
NA1000	928,1 ± 139,2	906,9 ± 114,6	895 ± 77,8	912,1 ± 117	0,14	-	-	-	-	-	-
CC400m	74,7 ± 6,3	73,6 ± 5,1	78,9 ± 9,2	75,5 ± 8,6	3,09	-	-	-	-	-	-
CC1000m	223 ± 25,3	220,5 ± 19	228,5 ± 28,46	222,5 ± 26,4	0,70	-	-	-	-	-	-
PT	18,9 ± 14,2	20,1 ± 10	16,1 ± 13,4	19 ± 13,9	1,00	-	-	-	-	-	-
JN1 (<i>n</i>)	11	17	10	13							
NA100	74,8 ± 8,5	71,2 ± 8,7	69,6 ± 3,4	71,3 ± 8,3	2,34	-	-	-	-	-	-
NA1000	924,2 ± 141,6	875,2 ± 127,5	849 ± 62,6	902,1 ± 146,6	1,16	-	-	-	-	-	-
CC400m	75,2 ± 5,7	73,7 ± 7,3	78,4 ± 11,8	76,6 ± 6,6	1,53	-	-	-	-	-	-
CC1000m	218,9 ± 23,1	215,2 ± 22,3	223,4 ± 24,2	229,6 ± 26,1	2,68	-	-	-	-	-	-
PT	17,1 ± 13,9	22 ± 10,6	18,8 ± 13,3	16,9 ± 13	1,85	-	-	-	-	-	-
JN2 (<i>n</i>)	5	4	2	2							
NA100	74,1 ± 5,8	68,9 ± 4,6	82,7 ± 19,3	70,4 ± 4,8	2,64	-	-	-	-	-	-
NA1000	933 ± 118,8	839,5 ± 104,2	955 ± 227,6	915,5 ± 94	2,38	-	-	-	-	-	-
CC400m	74,9 ± 8,1	77,3 ± 4,8	72,1 ± 2,9	69,5 ± 9,1	2,21	-	-	-	-	-	-
CC1000m	226,2 ± 34,4	221 ± 9	203 ± 7	209 ± 19,7	1,59	-	-	-	-	-	-
PT	14,7 ± 14,5	20,2 ± 4,1	22,9 ± 15,1	20,8 ± 13,1	0,61	-	-	-	-	-	-

Nota: ^a $p < 0,001$; ^b $p < 0,01$; ^c $p < 0,05$ (Kruskal-Wallis test). * $p < 0,0083$ (U Mann-Whitney test. Nivel de significación ajustado por el procedimiento de Bonferroni). ^{1 2 3} indican la magnitud del tamaño del efecto del RAE (d de Cohen: ¹ pequeño: $d > 0,20$, ² moderado: $d > 0,50$, ³ grande: $d > 0,80$); CD1 = Cadete de primer año; CD2: Cadete de segundo año; CD3: Cadete de tercer año; JN1: Junior de primer año; JN2: Junior de segundo año

Tabla 3. Comparación intra-sexo entre cuartiles de nacimiento.

	Q1 <i>M ± SD</i>	Q2 <i>M ± SD</i>	Q3 <i>M ± SD</i>	Q4 <i>M ± SD</i>	K-W	Q1 vs Q2	Q1 vs Q3	Q1 vs Q4	Q2 vs Q3	Q2 vs Q4	Q3 vs Q4
MAS (<i>n</i>)	239	254	233	193							
NA100	66,7 ± 9,6	67,9 ± 7,7	68,4 ± 8,3	68,6 ± 7,8	10,80 ^c	-	-2,58 ^{*1}	-2,98 ^{*1}	-	-	-
NA1000	857,2 ± 131,1	874,2 ± 119	885,1 ± 122,5	885,1 ± 122,7	10,76 ^c	-	-2,95 ^{*1}	-2,76 ^{*1}	-	-	-
CC400m	63,7 ± 6,1	64,5 ± 5,8	64,4 ± 6,1	66,6 ± 6,7	30,47 ^a	-	-	-5,37 ^{*1}	-	-3,70 ^{*1}	-3,38 ^{*1}
CC1000m	186,8 ± 18,8	189,5 ± 17,1	190,9 ± 18,9	194,6 ± 18,3	22,87 ^a	-	-2,43 ^{*1}	-4,73 ^{*1}	-	-2,55 ^{*1}	-2,58 ^{*1}
PT	18,7 ± 12,5	15,2 ± 11,6	14,7 ± 10,8	12,5 ± 10,2	27,77 ^a	-3,13 ^{*1}	-3,37 ^{*1}	-5,11 ^{*2}	-	-	-
FEM (<i>n</i>)	118	113	79	92							
NA100	75,2 ± 9,2	73,12 ± 6,7	77,1 ± 9,3	73,3 ± 7,9	6,09	-	-	-	-	-	-
NA1000	935,4 ± 125	907,5 ± 108,8	947 ± 123,3	908,1 ± 115,9	5,01	-	-	-	-	-	-
CC400m	76,9 ± 7,5	75,2 ± 6,4	79,1 ± 9,1	77,5 ± 8,4	4,19	-	-	-	-	-	-
CC1000m	227,8 ± 27,9	220,1 ± 20	229,3 ± 24,8	228,9 ± 27,1	1,72	-	-	-	-	-	-
PT	16,2 ± 13,7	19,3 ± 11,64	14,5 ± 12,4	17,9 ± 13,6	4,49	-	-	-	-	-	-

^a $p < 0,001$; ^b $p < 0,01$; ^c $p < 0,05$ (Kruskal-Wallis test). * $p < 0,0083$ (U Mann-Whitney test. Nivel de significación ajustado por el procedimiento de Bonferroni). ^{1 2 3} indican la magnitud del tamaño del efecto del RAE (d de Cohen: ¹ pequeño: $d > 0,20$, ² moderado: $d > 0,50$, ³ grande: $d > 0,80$)

2.5 Discusión

El objetivo de esta investigación fue determinar la importancia del RAE sobre el proceso de identificación de talentos en un grupo de triatletas. Los datos de este trabajo han mostrado que los atletas nacidos en el primer cuartil del año -Q1- (Enero-Marzo) obtuvieron mejores marcas en la mayoría de las pruebas analizadas que aquellos nacidos en el último cuartil del año -Q4- (Octubre-Diciembre). Además, los datos revelan que las diferencias se acentúan progresivamente a medida que se comparan los cuartiles más distantes. Sin embargo, estos resultados no se han mostrado tan consistentes en el sexo femenino como en el masculino, coincidiendo con los hallazgos de los trabajos de Costa et al. (2013) y Helsen et al. (2005) que indican la ausencia o una menor presencia del RAE en el deporte femenino. No obstante, Campos (2013) revela la necesidad de considerar el RAE en chicas debido a que estudios recientes han identificado su presencia en el deporte de élite femenino (Delorme et al., 2010c).

Por tanto, los resultados obtenidos para el sexo masculino han mostrado la existencia del RAE a lo largo del proceso de selección y cómo su influencia podría determinar, en muchos casos, la marca del deportista en las pruebas de rendimiento. Estos hallazgos se sitúan en la línea marcada por estudios anteriores que examinan este fenómeno en otros contextos deportivos como natación (Costa et al., 2013; Deprez et al., 2012) o más recientemente en esquí alpino dónde Müller et al. (2015) demostraron como el RAE influye de forma evidente sobre el rendimiento deportivo en competición. Estos autores advierten que los atletas nacidos en el último cuartil del año competitivo tienen menores posibilidades para alcanzar la élite debido a la influencia de este factor.

Por otro lado, Delorme et al. (2010a) observaron como el ratio de deportistas que experimentaron experiencias negativas, frustración o abandono deportivo era mayor en los jugadores de fútbol nacidos en la última parte del año competitivo. En esta línea,

nuestro estudio advierte que los triatletas cuya fecha de nacimiento se encuentra entre octubre y diciembre podrían vivenciar experiencias similares con mayor probabilidad que el resto; sin embargo, son necesarias más investigaciones que analicen esta circunstancia.

Las diferencias entre rangos por categorías también ponen de manifiesto la sensibilidad del resultado final a la edad cronológica. De este modo se observan como las marcas en CC400 y CC1000 son mejores en aquellos atletas nacidos en la primera parte del año (Enero-Marzo), dándose la mayor diferencia significativa entre Q1-Q4 en el grupo de cadetes de primer año y segundo año. En este trabajo, las pruebas de natación parecen ser menos sensibles a este efecto. Estos resultados contrastan con los hallados por Costa et al. (2013) en esta disciplina. La diferencia en la composición de la muestra, deportistas de élite y triatletas participantes en pruebas de selección, podría ser la principal causa de los resultados obtenidos. Es importante destacar el peso del aspecto técnico en esta disciplina; y mientras en el estudio de Costa et al. (2013) la técnica podría permanecer homogénea en los diferentes grupos, en nuestra investigación podrían existir mayores diferencias intra-individuales en las categorías analizadas.

Varios autores (Deprez et al., 2012; Horn y Okumura, 2011; Müller et al., 2015) han mostrado evidencias sobre el problema que la presencia del RAE supone en otros deportes. El propósito de este trabajo fue determinar la presencia de RAE en la estructura de identificación de talentos en triatlón. Los datos reflejan que las mayores diferencias entre cuartiles, tanto por categorías como por sexo, corresponden a la puntuación total del baremo. En los cadetes de segundo año se observan diferencias significativas entre Q1-Q4. Del mismo modo, se encuentran estas diferencias entre Q1-Q4 para los cadetes de tercer año. Para el sexo masculino, se encuentran diferencias significativas para esta variable entre Q1 y los demás cuartiles. Por consiguiente, el análisis sugiere que además

del RAE sobre las variables de rendimiento, el propio sistema de puntuación podría ser otro elemento potenciador del “efecto discriminatorio” (Musch y Grondin, 2001) al aumentar las diferencias entre los pares de grupo.

2.6 Conclusión y consideraciones

Esta investigación ha mostrado una clara presencia del RAE en las variables determinantes del resultado final del proceso de selección e identificación de talentos en triatlón. Probablemente estas diferencias no sólo se deban a una hipótesis, sino que como indican algunos autores (Campo, 2013), además de la maduración, sean otros factores como la experiencia, el auto-concepto o la estructura competitiva los que contribuyen a la aparición del RAE en el deporte. Acorde con los antecedentes (Campo, 2013; Costa et al., 2013; Delorme et al., 2010a; Horn y Okumura, 2011) resulta evidente dados los resultados, que los planteamientos actuales de selección y estructura competitiva deben ser revisados con el fin de disminuir la influencia del RAE. Con este fin, algunos autores han construido propuestas que consideran cambios en la organización competitiva o las bases de los procesos de selección en los clubes (Horn y Okumura, 2011) tomando como referencia la subdivisión en cuartiles según la fecha de nacimiento de los deportistas. Sin embargo, ninguna de ellas ha mostrado científicamente su eficacia (Campo, 2013). El principal problema que plantea este tipo de estrategias es su difícil aplicabilidad en los ya complejos y variados contextos deportivos.

Las futuras investigaciones deberían dirigirse a la mejora de los procesos de selección, rechazando la estructura puntual y cronométrica de las pruebas de rendimiento en favor de estructuras de evaluación continua que se sucederían a lo largo del proceso formativo teniendo en cuenta variables como la edad biológica, la cual

permitiría ajustar los resultados al estado madurativo y no cronológico del deportista. Además, deberían incrementarse los estudios con objeto de determinar la influencia del RAE en el deporte femenino dado que en este trabajo se han alcanzado algunas diferencias significativas intra-categorías limitadas al tamaño de la muestra.

A pesar de las limitaciones del presente estudio, los datos hallados han puesto de manifiesto la presencia del RAE en los procesos de identificación de talento deportivo y su influencia en el rendimiento deportivo. Así, estos resultados sugieren que la inclusión del RAE en los programas formativos de entrenadores podría favorecer la identificación de los beneficios temporales asociados a los ritmos de crecimiento individuales. Por último, para minimizar la presencia del RAE es imprescindible actuar de forma responsable desde todos los estamentos y tomar conciencia de este problema para ofrecer un proceso en igualdad de oportunidades para todos los atletas.

2.7 Referencias

- Armstrong, H. G. (1966). A comparison of the performance of summer and autumn-born children at eleven and sixteen. *The British Journal of Educational Psychology*, 36(1), 72–76.
- Campo, D. G. (2013). Revisión y propuestas de intervención sobre el Efecto de la Edad Relativa en los ámbitos educativo y deportivo. [Review of relative age effects and potential ways to reduce them in sport and education]. *Retos: Nuevas Tendencias En Educación Física, Deporte Y Recreación*, 23, 51–63.
- Carling, C., Le Gall, F., Reilly, T., y Williams, A. M. (2009). Do anthropometric and fitness characteristics vary according to birth date distribution in elite youth academy soccer players? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 19(1), 3–9.

- Costa, A. M., Marques, M. C., Louro, H., Ferreira, S. S., y Marinho, D. A. (2013). The relative age effect among elite youth competitive swimmers. *European Journal of Sport Science*, 13, 437–444.
- Delorme, N., Boiché, J., y Raspaud, M. (2010a). Relative age and dropout in French male soccer. *Journal of Sports Sciences*, 28, 717–722.
- Delorme, N., Boiché, J., y Raspaud, M. (2010b). Relative age effect in elite sports: Methodological bias or real discrimination? *European Journal of Sport Science*, 10, 91–96.
- Delorme, N., Boiché, J., y Raspaud, M. (2010c). Relative age effect in Female Sport: A Diachronic Examination of Soccer Players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20, 509–515.
- Deprez, D., Vaeyens, R., Coutts, A. J., Lenoir, M., y Philippaerts, R. (2012). Relative age effect and Yo-Yo IR1 in youth soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 33, 987–993.
- Freyman, R. (1965). Further Evidence on the Effect of Date of Birth on Subsequent School Performance. *Educational Research*, 8(1), 58–64.
- Helsen, W. F., Starkes, J. L., y Van Winckel, J. (1998). The influence of relative age on success and dropout in male soccer players. *American Journal of Human Biology*, 10, 791–798.
- Helsen, W. F., Van Winckel, J., y Williams, A. M. (2005). The relative age effect in youth soccer across Europe. *Journal of Sports Sciences*, 23, 629–636.
- Horn, R. R., y Okumura, M. (2011). It's time to eliminate the relative age effect in American soccer. *Soccer Journal*, 56, 38–40.
- Jinks, P. C. (1964). An Investigation into the Effect of Date of Birth on Subsequent School Performance. *Educational Research*, 6, 220–225.

- Lien, L., Tambs, K., Oppedal, B., Heyerdahl, S., y Bjertness, E. (2005). Is relatively young age within a school year a risk factor for mental health problems and poor school performance? A population-based cross-sectional study of adolescents in Oslo, Norway. *BMC Public Health*, 5(1), 102.
- Malina, R. M. (1994). Physical growth and biological maturation of young athletes. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 22, 389–433.
- Malina, R. M., Bouchard, C., y Bar-Or, O. (2003). *Growth, Maturation y Physical Activity* (2nd ed.). Champaign, Ill: Human Kinetics Pub Inc.
- Medic, N., Young, B. W., Starkes, J. L., y Grove, J. (2009). Gender, age, and sport differences in relative age effects among US Masters swimming and track and field athletes. *Journal of Sports Sciences*, 27, 1535-1544.
- Morrison, F. J., Smith, L., y Dow-Ehrensberger, M. (1995). Education and cognitive development: A natural experiment. *Developmental Psychology*, 31, 789–799.
- Mujika, I., Vaeyens, R., Matthys, S. P. J., Santisteban, J., Goiriena, J., y Philippaerts, R. (2009). The relative age effect in a professional football club setting. *Journal of Sports Sciences*, 27, 1153–1158.
- Müller, L., Hildebrandt, C., y Raschner, C. (2015). The Relative Age Effect and the Influence on Performance in Youth Alpine Ski Racing. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14(1), 16–22.
- Musch, J., y Grondin, S. (2001). Unequal Competition as an Impediment to Personal Development: A Review of the Relative Age Effect in Sport. *Developmental Review*, 21, 147–167.
- National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioural Research. The Belmont Report: Ethical Principles and Guidelines for the Protection of Human Subjects Research. (1978). Government Printing Office.

- Nolan, J., y Howell, G. (2010). Hockey success and birth date: The relative age effect revisited. *International Review for the Sociology of Sport*, 4, 507-512.
- Salinero, J. J., Pérez, B., Burillo, P., Lesma, M. L., y Herrero, M. H. (2015). Efecto de la edad relativa en el fútbol profesional español. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 14, 591-601
- Sprietsma, M. (2007). The Effect of Relative Age in the First Grade of Primary School on Long-Term Scholastic Results: International Comparative Evidence Using Pisa 2003 (SSRN Scholarly Paper No. ID 997221). Rochester, NY: Social Science Research Network.
- Williams, P. (1964). Date of Birth, Backwardness and Educational Organisation. *British Journal of Educational Psychology*, 34, 247–255.

Capítulo 3

La variabilidad de la frecuencia cardíaca

- Investigación y aplicaciones prácticas -

3 Variabilidad de la frecuencia cardíaca: investigación y aplicaciones prácticas en el ámbito deportivo.

3.1 Resumen

Esta revisión analiza las principales aplicaciones y limitaciones de los monitores de frecuencia cardíaca en el ámbito deportivo. Los aspectos clave, que tanto investigadores como entrenadores deberían considerar, han sido expuestos con el fin de optimizar su uso en el control diario del entrenamiento a través de la monitorización de la variabilidad de la frecuencia cardíaca. Estos se refieren a la fiabilidad y validez de estos instrumentos; así como consideraciones metodológicas fundamentales para el registro e interpretación estadística de los datos. Teniendo en cuenta sus limitaciones, este trabajo manifiesta la utilidad de las diferentes funcionalidades de estos dispositivos para la monitorización de los procesos de adaptación al entrenamiento, tanto fisiológicos como psicológicos, en deportes individuales y colectivos. Del mismo modo, el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en reposo podría ser una herramienta útil para valorar la respuesta del organismo y maximizar el rendimiento en el ámbito deportivo.

3.2 Introducción

Origen y evolución de los monitores de frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca es un importante objeto de estudio para la medicina tradicional, y en concreto, para los fisiólogos deportivos. El registro cuantitativo de la actividad cardíaca no comienza hasta mediados del siglo XVII cuando John Floyer, un médico inglés, crea uno de los primeros dispositivos capaces de medir el pulso y la

variación respiratoria (Billman, 2011). No es hasta mediados del siglo XX, con la aparición del galvanómetro de cuerda desarrollado por el fisiólogo alemán William Einthoven, cuando la ciencia comienza a obtener registros continuos de la actividad bioeléctrica del corazón. Estos registros, denominados electrocardiogramas (ECG), se componen de tres secciones: onda P, complejo QRS y onda T (Figura 1), que representan la despolarización y repolarización de las aurículas y los ventrículos. Estos avances permitieron la definición de las características electrocardiográficas de numerosas enfermedades y procesos cardiovasculares (Billman, 2011).

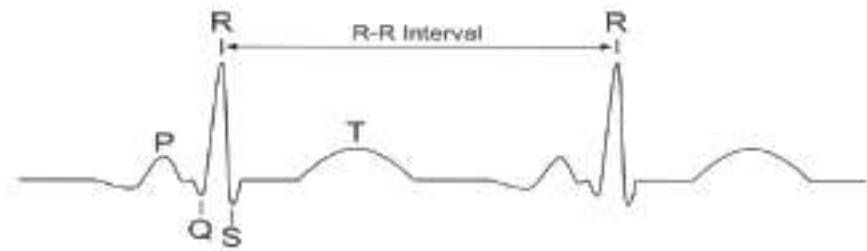


Figura 1. Representación de un intervalo R-R entre complejos QRS.

Desde entonces, el desarrollo tecnológico ha contribuido a una rápida evolución de los instrumentos de monitorización de la frecuencia cardíaca (FC), reduciendo su tamaño y costes. Actualmente se encuentran adaptados en relojes o aplicaciones móviles que han sido validadas respecto a las mediciones del ECG (Flatt y Esco, 2013; Leger y Thivierge, 1988; Quintana, Heathers, y Kemp, 2012). Estos dispositivos añaden una banda flexible y adaptable al torso. La banda forma el elemento emisor con dos electrodos situados a ambos lados del corazón captando las derivaciones de la actividad cardíaca. El reloj y/o aplicación móvil forman el elemento receptor, contando con un procesador que integra las señales eléctricas y el tiempo. Estos sistemas incluso han sido optimizados para registrar la FC en actividades acuáticas (Belloch y Forner, 1999) utilizando como método la oximetría. Este se fundamenta en la relación de absorción de

la luz roja e infrarroja con la saturación de oxígeno en sangre, permitiendo la medición indirecta del pulso cardíaco.

El crecimiento en sus funcionalidades como la estimación del volumen máximo de oxígeno (VO₂max), análisis de la carga de entrenamiento, cálculo calórico de la actividad, etc., ha convertido este instrumento en una herramienta fundamental en el ámbito deportivo y científico. Recientemente, algunos monitores de frecuencia cardíaca (MFCs) han incorporado el registro de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC). Este parámetro ha sido identificado como un posible marcador de la adaptación del organismo a las cargas de entrenamiento (Buchheit, 2014), además de otras aplicaciones que se abordarán en este trabajo.

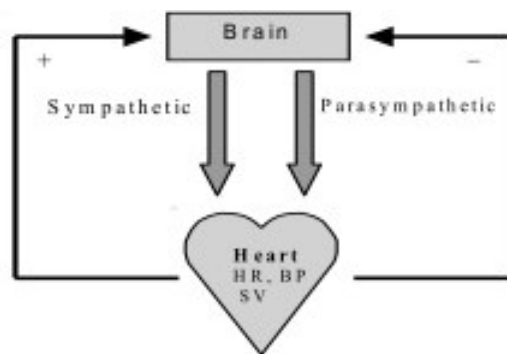


Figura 2. Modelo ilustrativo de la influencia del sistema nervioso simpático y parasimpático sobre la frecuencia cardíaca. Fuente: Aubert, A. E., Seps, B., y Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. Sports Medicine (Auckland, N.Z.), 33(12), 889–919.

La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC)

El registro de la actividad cardíaca se refiere normalmente al número de latidos en un momento preciso o espacio de tiempo previamente determinado. Sin embargo, el tiempo (en milisegundos) entre latidos es variable. Esta variación latido a latido hace referencia al concepto de VFC. El método tradicional para medir esta variación se basa en el cálculo de la diferencia de tiempo entre cada una de las ondas R, más conocidos

como intervalos RR (Billman, 2011). Estas diferencias son producto del control que el sistema nervioso autónomo (SNA) ejerce sobre la innervación y regulación de la FC (Figura 2).

El equilibrio existente entre el sistema nervioso simpático (SNS) y parasimpático (SNP) afecta directamente al tiempo que se produce entre latidos. El SNP participa en la regulación del aparato cardiovascular entre otros. Entre sus funciones se encuentra la gestión del reflejo barorreceptor y la liberación de acetilcolina en el nodo sinusal mediada por el nervio vago. La acción de este neurotransmisor produce una disminución en la FC que provoca o mantiene el estado de reposo tras un estímulo estresante (e.g. actividad física, ansiedad, etc.). Por el contrario, el SNS es el encargado de aumentar la FC tras la liberación de adrenalina y noradrenalina en el torrente sanguíneo, con el fin de preparar al organismo ante una situación de estrés físico y/o psicológico.

Uno de los primeros modelos portátiles capaces de registrar este parámetro aparece en 1995 introducido por la empresa Polar Electro Oy (Laukkanen y Virtanen, 1998). Las primeras investigaciones con este dispositivo, Vantage NVTM, describieron los períodos de recuperación y sobre-entrenamiento y su relación con la VFC (Kaikkonen, Karppinen, y Laukkanen, 1997). La medición de este parámetro informa de manera indirecta sobre la actividad del SNA que se encuentra asociada a los procesos fisiológicos adaptativos que se producen durante el entrenamiento (Garet et al., 2004; Kiviniemi et al., 2010).

Aunque algunos estudios han mostrado como la VFC podría estar relacionada con la intensidad del ejercicio (Cottin et al., 2004) o el rendimiento deportivo (Buchheit, Simpson, Al Haddad, Bourdon, y Mendez-Villanueva, 2012; Buchheit et al., 2010; Nummela, Hynynen, Kaikkonen, y Rusko, 2010), la literatura científica aun no es

consistente en su utilización e interpretación como herramienta de control del proceso de entrenamiento. Como indican algunos autores (Buchheit, 2014), estas discrepancias podrían deberse a la heterogeneidad en los métodos de evaluación (Task Force, 1996) e inconsistencias metodológicas.

Debido al crecimiento de su uso, la investigación en teoría del entrenamiento y la continua aparición de nuevos dispositivos, este trabajo está enfocado a analizar la importancia de esta tecnología en la actualidad en el ámbito científico-deportivo. Además, se mostrarán que índices interpretados correctamente, podrían ser útiles en la monitorización de cambios significativos durante el proceso de entrenamiento; así como la validez y fiabilidad de estos instrumentos. Esta revisión ofrece ser una guía práctica para el uso de los monitores de frecuencia cardíaca y analizar las tendencias de futuro.

3.3 Precisión en la medida

La monitorización de la FC y la VFC permite recolectar datos, que una vez transferidos y posteriormente analizados en el ordenador, son útiles para determinar o evaluar diferentes aspectos relacionados con la intensidad del ejercicio (Kaikkonen, Hynynen, Mann, Rusko, y Nummela, 2010; Seiler, Haugen, y Kuffel, 2007), el estado de sobre-entrenamiento (Hedelin, Wiklund, Bjerle, y Henriksson-Larsén, 2000; Kaikkonen et al., 1997), la planificación deportiva (Buchheit, 2014; Buchheit et al., 2010; Kiviniemi et al., 2010; Kiviniemi, Hautala, Kinnunen, y Tulppo, 2007; Plews, Laursen, Stanley, Kilding, y Buchheit, 2013; Stanley, Peake, y Buchheit, 2013) o el estado psicológico (César, Blásquez, Rodas, y Ortís, 2009; Sánchez, Romero, y Ortís, 2013). La facilidad de uso y concordancia de los registros con los ofrecidos por un ECG, hace que sea una herramienta excelente para los entrenadores y fisiólogos deportivos. Sin embargo, la variedad y el número de modelos de MFC en el mercado no corresponde

al existente de publicaciones académicas que hagan referencia a la fiabilidad y validez de estos instrumentos respecto a la medida de la FC e intervalos RR. La mayoría incluyen servicios adicionales como sistemas de posicionamiento global (GPS) o altímetros, que sí cuentan con este tipo de investigaciones (Menaspà, Impellizzeri, Haakonssen, Martin, y Abbiss, 2014; Wieters, Jun-Hyun Kim, y Chanam Lee, 2012).

Los monitores pertenecientes a la empresa Polar Electro Oy cuentan con una amplia red de investigaciones para muchos de sus modelos que además son utilizados frecuentemente en estudios de valoración biológica o psicológica. Uno de los principales estudios fue el realizado por Leger and Thivierge (1988) donde compararon la validez, estabilidad y funcionalidad de trece MFCs. Estos fueron divididos en tres categorías acordes a la correlación del registro de datos respecto al ECG de Holter. Esta relación era calificada de excelente si el coeficiente de correlación (r) era igual o mayor a 0.93; buena si $0.65 < r < 0.93$; e inadecuada si $r < 0.65$. Basándose en este sistema, los autores concluyeron que los modelos PE 3000 (Polar Electro), Pacer 2000 H (Sportronic AG) y Monark 1 (Monark-Crescent) presentaron una validez adecuada para su uso comparados con el ECG. Los MFCs que obtuvieron una puntuación baja fueron aquellos que registraban los datos a través de electrodos situados en los dedos o manos o determinaban el pulso mediante el método de oximetría en el lóbulo de la oreja.

Posteriormente Seaward et al. (1990) presentaron resultados similares de fiabilidad ($r = 0.99$) para el modelo PE 3000 (Polar Electro) tras comparar 250 registros con el sistema ECG en diferentes situaciones de actividad física aeróbica a intensidad variada. Es importante destacar que aunque la mayor parte de las investigaciones han centrado su atención en población sana y deportista (Leger y Thivierge, 1988; Nunan et al., 2009; Quintana et al., 2012), algunos autores han analizado estos factores en población infantil (Gamelin, Baquet, Berthoin, y Bosquet, 2008). Los resultados aún menos precisos que

en adultos muestran como, en este caso el modelo Polar S810, es una herramienta válida para el registro y análisis de los intervalos RR en niños. También se observa como los registros en situaciones de estrés psicológico (Goodie, Larkin, y Schauss, 2000) concuerdan ($r = 0.98$) entre las medidas ECG y los dispositivos.

El contexto de medición (estático o dinámico) es uno de los principales factores a tener en cuenta en estos dispositivos. En referencia a este aspecto, son varios los estudios que han encontrado evidencias consistentes comparando registros en diferentes situaciones. Weippert et al. (2010) comparó la medición de los intervalos RR en tres dispositivos: Polar S810i, Suunto t6 y ECG. Las mediciones se realizaron en 19 individuos (edades comprendidas entre 22 y 31 años) en posición supina, sentados, actividad moderada y actividad progresiva en intensidad. Los resultados muestran como el coeficiente de correlación intraclass (ICC > 0.99) indica una excelente concordancia entre los tres dispositivos, siendo ligeramente superior entre el ECG y el modelo Polar S810i.

El crecimiento de estas investigaciones coincide con el interés de encontrar una evaluación alternativa a los ECGs. Hasta ahora, los estudios analizados comparten una limitación común ligada al escaso tamaño muestral, siendo necesaria más investigación con un mayor tamaño muestral. Recientemente, Wallén et al. (2012) evaluó la validez del modelo Polar RS800 en una muestra amplia ($n = 341$) teniendo en cuenta variables como la edad o el género. Los resultados del ICC indicaron como se atribuían valores más bajos para el género femenino en todas las variables respecto al masculino. Además, no se alcanzó el coeficiente ICC mínimo para el valor de SDNN en ninguna de las tres categorías femeninas y aún más destacable, en ninguna de las variables para las mujeres mayores de 60 años. Por el contrario, si se obtuvieron altos índices de ICC ($r = 0.99$) para las variables en el género masculino. Los autores recomiendan, siempre que sea

posible, realizar una evaluación tradicional (ECG), aunque también destacan las características de los diseños de los MFC y sus ventajas (Wallén et al., 2012).

Respecto a los sistemas que permiten monitorizar a más de un atleta al mismo tiempo, Schönfelder et al. (2011) realizaron la comparación de cuatro de estos dispositivos telemétricos (Polar Team² Pro, Acentas Team, Suunto Pro Team Pack y Activio Sport System) en tres categorías: software, hardware y fiabilidad de la medida. Los resultados muestran que el sistema Acentas es aquel que alcanza una mayor puntuación general, aunque los autores concluyen que cada sistema posee ventajas e inconvenientes dependiendo del propósito de su uso, localización y tiempo atmosférico

La mayoría de los fabricantes permiten la sincronización de datos con una interfaz web dónde se visualizan instantáneamente. Además, incluyen softwares de corrección digital de la señal para los registros de VFC. No obstante, algunos autores recomiendan la corrección visual dados los posibles errores del sistema (Storck, Ericson, Lindblad, y Jensen-Urstad, 2001). Por otro lado, muchos de los estudios analizados con el fin de validar este instrumento han utilizado una frecuencia de muestreo de 1000 Hz (Gamelin et al., 2006; Quintana et al., 2012; Seaward et al., 1990). Esta frecuencia parece la adecuada para realizar este tipo de análisis puesto que parece razonable que un incremento en el número de datos aumente la precisión de la medida al igual que sucede en otro tipo de tecnologías como los GPS (Castellano y Casamichana, 2014).

El coste económico, versatilidad, facilidad de uso, inmediatez y validez parecen las principales ventajas que nos aportan estos dispositivos para su uso diario frente a los métodos tradicionales. Sin embargo, tal y como indican algunos autores (Buchheit, 2014; Quintana et al., 2012; Schäfer et al., 2015), se debe ser cuidadoso en la interpretación de los datos, pudiendo sufrir modificaciones en su estimación para

determinados grupos de edad o género.

3.4 Principales aplicaciones en el ámbito científico-deportivo

El uso de los MFCs en el ámbito científico y deportivo es variado. Entre las disciplinas que han destacado en su incorporación al entrenamiento diario se encuentran los deportes de resistencia. Hoy en día es extraño encontrar un atleta que no utilice este tipo de tecnología para controlar la carga de entrenamiento y valorar su efecto.

Tradicionalmente se han utilizado indicadores de carga externa (tiempo, velocidad, distancia, etc.) que no reflejaban el impacto del ejercicio (Wallace, Slattery, y Coutts, 2014). En deportes como ciclismo, triatlón o esquí de fondo, la velocidad de desplazamiento no siempre se corresponde con la intensidad real. Dichos parámetros pueden ser influidos por diversos factores tales como la disposición del terreno o las condiciones ambientales (Achten y Jeukendrup, 2003). Por esta razón, el control de la carga interna del entrenamiento es imprescindible en este tipo de marcos para optimizar el rendimiento. Los cambios en las concentraciones de lactato o los análisis de los perfiles de creatina quinasa (CK) y urea (U) podrían utilizarse para controlar el estado de forma, pero estos métodos son invasivos y no pueden aplicarse frecuentemente (Buchheit, 2014).

La monitorización de la actividad cardiovascular permite controlar la carga interna del entrenamiento, además de posibilitar su adaptación a las características individuales del atleta de forma no invasiva, rápida y eficaz. Esto es debido a la relación lineal que los investigadores (Astrand y Rodahl, 1986) observaron entre la intensidad y la FC en diferentes rangos. Estos avances han permitido desarrollar diversas ecuaciones que estiman las zonas de entrenamiento a partir de las pruebas de determinación de umbrales, siendo la Frecuencia Cardíaca Máxima (FCM) uno de los valores más utilizados. La

determinación del umbral anaeróbico es sin duda una de las mayores aplicaciones prácticas de la monitorización de este parámetro. El test de Conconi (Conconi et al., 1996), con una trayectoria de más de dos décadas, es una de las herramientas de campo más utilizadas para su cálculo en deportes de resistencia.

Recientemente los investigadores han centrado su interés en el estudio del comportamiento de la VFC como herramienta de control del entrenamiento. Algunos autores muestran como la prescripción diaria de tareas en base a la fluctuación de la VFC es más eficiente comparada con los modelos tradicionales (Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). Estos resultados se basan en observaciones previas que han asociado alteraciones en parámetros relacionados con la actividad parasimpática a diferentes intensidades de esfuerzo (Buchheit, Simon, Piquard, Ehrhart, y Brandenberger, 2004; Cottin et al., 2004; Kaikkonen et al., 2010), procesos de recuperación (Hautala et al., 2001), procesos de adaptación (Manzi et al., 2009; Pichot et al., 2000; Vesterinen et al., 2013), sobre-entrenamiento (Hedelin et al., 2000) y rendimiento (Buchheit et al., 2012; Buchheit et al., 2010; Garet et al., 2004; Nummela et al., 2010).

Por otro lado, discernir entre los factores fisiológicos y psicológicos del rendimiento deportivo no es una tarea sencilla (Córdoba, 2011). La naturaleza de la VFC ha convertido esta variable en un objeto de estudio emergente en el campo de la psicología deportiva. Varios autores han relacionado esta variable con la aparición de rasgos de ansiedad (César et al., 2009; Morales et al., 2013), estados de ánimo (J. M. Sánchez et al., 2013) o calidad de sueño (Myllymäki et al., 2011) y destacado la importancia de estos aspectos en competición (Noce y de Moura Simim, 2009). Estos resultados evidencian como este parámetro podría ser una herramienta útil en el control de los procesos adaptativos al entrenamiento (Plews, Laursen, Kilding, y Buchheit, 2013). Pese

a esto, algunos autores advierten de la necesidad de utilizar test psicométricos (e.g. POMS) (Torralba, Ramón, y Lerma, 2009) que complementen los registros de los parámetros relacionados a la frecuencia cardíaca (Buchheit, 2014).

Mientras los registros en deportistas recreacionales o atletas bien entrenados sugieren que la VFC podría ser válida para evaluar las adaptaciones en deportes de resistencia, los datos obtenidos en atletas de élite con un largo historial deportivo no son consistentes (Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013). En este tipo de población algunos autores han observado como los niveles de actividad parasimpática se reducen durante los períodos de tapering (Hug et al., 2014; Manzi et al., 2009). Este hecho podría ser interpretado como una disminución del rendimiento. Sin embargo, este comportamiento ha sido asociado con buenos resultados en competición (Garet et al., 2004; Plews, Laursen, Kilding, y Buchheit, 2014). Algunos autores lo explican como una posible causa del estrés competitivo (Morales et al., 2013), disminución del volumen plasmático (Mujika et al., 2000) o fenómeno de saturación de los receptores de acetilcolina a nivel intramuscular (Buchheit, 2014). Dado que la literatura no es consistente, se debe ser cauto en la interpretación de esta variable en deportistas de élite.

El control de las variables relacionadas con la FC (e.g. VFC) resulta un área de gran interés para los científicos, entrenadores o atletas dada su posible utilidad en la optimización del proceso de entrenamiento.

3.5 Consideraciones metodológicas en el uso diario de la VFC.

El desarrollo tecnológico ha permitido la incorporación gradual de la VFC al ámbito deportivo (Gamelin, Berthoin, y Bosquet, 2006). Este hecho se debe a que la literatura científica no es consistente en la metodología de aplicación e interpretación de esta variable. En consecuencia, este trabajo expone a continuación las principales

incongruencias metodológicas y ofrece evidencias sobre su correcta evaluación e interpretación para su uso diario en el proceso de entrenamiento.

Indicadores de la VFC.

El análisis de la VFC es una tarea compleja dado los numerosos índices y métodos de evaluación. Los métodos más comunes son los que se basan en el dominio temporal, en el dominio frecuencial y los no-lineales (Task Force, 1996). Cada uno de los índices representa una manifestación del SNA, es decir, algunos se asocian más probablemente a la actividad del SNP; mientras que otros a la actividad del SNS (Task Force, 1996). La monitorización diaria del entrenamiento requiere índices prácticos y fáciles de calcular. En este texto no se contempla la exposición de todos los parámetros asociados a la VFC, para ello pueden consultarse los trabajos de otros autores (Rodas, Pedret, Ramos, y Capdevila, 2008; Task Force, 1996).

Los principales índices surgen del análisis matemático de los intervalos RR y se sitúan dentro de la categoría de dominio temporal. Estos valores son: la raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR sucesivos (rMSSD) y la desviación estándar de los intervalos RR instantáneos obtenida del plot de Poincaré (SD1); ambos relacionados con la actividad parasimpática. Varios estudios muestran como estos parámetros están relacionados con el rendimiento (Buchheit et al., 2010; Garet et al., 2004), la distribución de la intensidad (Plews et al., 2014) o las adaptaciones diarias al entrenamiento (Bara-filho et al., 2013; Kiviniemi et al., 2010; Plews, Laursen, Kilding, y Buchheit, 2012).

La preferencia de los autores por estos índices reside en que su registro es compatible con períodos de corta duración (véase punto 3.1.2) facilitando la investigación de campo con atletas. Además, presentan una sensibilidad reducida a la frecuencia respiratoria al

contrario que los índices de dominio frecuencial (Billman, 2011) y su cálculo no requiere de softwares específicos, cuya adquisición en ocasiones puede ser costosa (Buchheit, 2014). Por otro lado, las variaciones de estos índices en el día a día son menores cuando se comparan con otro tipo de análisis. En términos estadísticos, el error típico (ET) expresado como coeficiente de variación (CV) es más elevado en los índices de dominio frecuencial (e.g. LF/HF $\approx$ 80%) que en los índices de dominio temporal (e.g. rMSSD $\approx$ 12%), pudiendo comprometer la sensibilidad de la medida (Al Haddad, Laursen, Chollet, Ahmaidi, y Buchheit, 2011).

De acuerdo con la línea metodológica propuesta por Buchheit (2014), los índices de dominio temporal como el rMSSD o SD1 son aquellos que podrían ofrecer mejores resultados y ser contrastables en futuras investigaciones. Esto no descarta la monitorización de otros parámetros (e.g. HF o LF) que también han mostrado ser útiles en la monitorización diaria del entrenamiento (Kiviniemi et al., 2007), aunque manteniendo presentes sus limitaciones.

Duración, frecuencia y posición del registro.

Tanto los atletas recreacionales como los atletas de élite tienen como objetivo obtener la máxima eficiencia durante los entrenamientos. En este proceso es necesario valorar si los instrumentos y métodos utilizados para el control diario de la adaptación son prácticos y adecuados a las necesidades individuales de los deportistas.

Algunos autores han defendido la monitorización de la VFC durante la noche dado que este período supone el espacio de restauración más importante del organismo y ofrece una estandarización de la medición al ser una condición exenta de estímulos externos. (Buchheit et al., 2004; Nummela et al., 2010; Pichot et al., 2000). Sin embargo, el sueño no es un estado uniforme. La alternancia de ciclos de sueño lento (NREM),

caracterizadas por una predominancia parasimpática, y las fases REM (Rapid Eye Movement) dónde se produce una gran activación del SNS, dificulta la estandarización de los datos. De acuerdo con Buchheit et al. (2004), los registros de la VFC nocturna deben centrarse en las fases de sueño lento en cortos períodos de tiempo (e.g. 5 minutos) con el fin de obtener registros en las fases de mayor actividad vagal, y por tanto, consideradas como procesos de recuperación (Horne y Minard, 1985).

En la práctica, el uso de los índices de VFC nocturna es difícil de incorporar en la rutina diaria del atleta. Además, debemos tener en cuenta que la intensidad del ejercicio del día anterior podría alterar los parámetros (Myllymäki et al., 2011), añadiendo otra limitación. Por esta razón, la tendencia actual se dirige hacia los registros de corta duración (5-10 minutos) al despertar (Aubert, Seps, y Beckers, 2003) en posición supina en reposo (Al Haddad et al., 2011).

Este método es más atractivo para el deportista y además mantiene las condiciones estandarizadas de la medida al no ser influenciada por ningún elemento externo y producirse a la misma hora, lugar y posición. Además, permite analizar los datos previamente al entrenamiento, pudiendo ajustar la tarea al resultado. Estas ventajas de las medidas en estado de reposo contrastan con las limitaciones del registro de la VFC durante el ejercicio o post-ejercicio. Estas imposibilitan el cambio de entrenamiento en caso de observar alguna alteración y su frecuencia se limita al momento en el que el atleta puede realizar el entrenamiento (Stanley et al., 2013). La monitorización de la VFC en este marco garantiza el registro de la actividad simpático vagal (Buchheit, 2014), y por tanto permite el estudio de los índices en relación a la planificación deportiva. En esta línea, varios autores (Kiviniemi et al., 2010, 2007, Plews et al., 2012, 2014; Plews, Laursen, Kilding, et al., 2013) han mostrado como la VFC podría ser una herramienta útil en la monitorización diaria del entrenamiento.

Respecto a la frecuencia del registro, Buchheit (2014) sugiere que los índices de VFC relacionados con la actividad parasimpática (e.g. rMSSD) deben recogerse al menos entre 3-4 veces por semana con el fin de operar con la media semanal. De ese modo, el error de la medida disminuirá al aumentar el número de registros realizados en base al factor: $1/\sqrt{n}$ (Hopkins, 2004). Por tanto, la posibilidad de malinterpretar la VFC y su relación con los procesos adaptativos es menos probable que si se utilizaran los valores diarios, pudiendo estos últimos llevarnos a tomar decisiones equivocadas en la prescripción del ejercicio (Buchheit, Papelier, Laursen, y Ahmaidi, 2007).

La valoración del cambio.

La monitorización diaria debe guiar al entrenador en la realización de inferencias sobre las tareas con el fin de trazar las líneas de la planificación deportiva. En ocasiones, la interpretación de los datos recogidos puede no ser la correcta, limitando el desarrollo del atleta. El enfoque tradicional distingue si un cambio es significativo o no en base al valor p (e.g. intervalo de confianza del 95%; $p < .05$). El problema que presenta a nivel práctico es que un efecto no significativo suele interpretarse como nulo o por el contrario, un efecto significativo que puede sea trivial, es normalmente malinterpretado como sustancial (Hopkins, Marshall, Batterham, y Hanin, 2009). Además, la significancia estadística no nos proporciona la información más importante, es decir, la magnitud del efecto.

Para considerar si se ha producido o no un cambio dada una variable este debe en primer lugar definirse. Hopkins (2004) introduce el concepto de “*Smallest Worthwhile Change*” (SWC) que considera el valor mínimo a partir del que un cambio sustancial ha ocurrido. Definir esta magnitud no es sencillo, debiendo adaptarse a las características individuales del atleta y el contexto deportivo (Hautala et al., 2006). Hopkins et al. (2009) propone que en deportes individuales la expresión como fracción de un cambio

dada una variable (e.g. rendimiento) sea posiblemente la mejor opción de estandarizar la medida. De esta forma, se considera un tercio sobre la variación de rendimiento (CV) del atleta entre competiciones como el SWC. Estos valores tienen como fundamento los análisis que Hopkins et al. (1999) realizaron sobre atletas de velocidad, determinando que la mejora de $0.3 \times CV$ en el rendimiento otorgaría al deportista la victoria en una de cada diez carreras. En esta línea, Hopkins et al. (2009) propone que estos valores podrían ser estandarizados en base al cálculo de la d de Cohen como tamaño del efecto (Cohen, 1988) con alguna modificación, considerando cambios pequeños ($> 0.2-0.6$), medianos ($>0.6-1.2$), grandes ($>1.2-2$) o muy grandes (>2). Este procedimiento estadístico permite además el desarrollo de meta-análisis combinando los resultados de varios estudios para dar una mejor estimación global del efecto.

En este punto, parece más adecuado reportar la magnitud del efecto (ME) junto con la estimación de su intervalo de confianza, es decir, la probabilidad que los límites definidos incluyan el valor real (ME). La información que nos proporciona es equivalente al de una prueba de significancia (e.g. usar 1-95% es equivalente a asumir $p < .05$). En términos cualitativos, Hopkins (2007) diseña estos intervalos en la siguiente escala: muy improbable ($< .05\%$), casi sin certeza ($.05-5\%$), muy poco probable ($5-25\%$), poco probable ($25-75\%$), posible ($75-95\%$), probable ($95-99.5\%$) y muy probable ($>99.5\%$). El cálculo de los intervalos de confianza y su posterior interpretación ha sido facilitado para el usuario en una hoja Excel del mismo autor (Hopkins, 2007).

La aplicación de esta metodología estadística en la monitorización diaria del entrenamiento y el ámbito científico requiere establecer una línea basal con el fin de determinar el CV de la variable e inferir cambios a partir de las consideraciones anteriormente descritas. En el caso concreto de la VFC, los autores (Buchheit, 2014; Plews et al., 2012) coinciden en monitorizar esta variable (e.g. rMSSD) durante la

primera semana de entrenamiento y calcular el CV individual de cada atleta. Además, debido al elevado error típico asociados en estos parámetros, incluso en aquellos de dominio de tiempo (Buchheit, 2014), se recomienda transformar los datos en base a su logaritmo natural (e.g. Ln rMSSD). De esta forma es posible distribuir las tareas atendiendo a las necesidades y respuestas individuales de los deportistas (Hautala et al., 2006) con el fin de optimizar el rendimiento como muestra la literatura (Plews et al., 2014; Plews, Laursen, Kilding, et al., 2013; Plews, Laursen, Stanley, et al., 2013).

3.6 Conclusiones

Este trabajo ha mostrado la fiabilidad y validez de las medidas asociadas a la FC que los MFCs ofrecen en comparación al ECG. También se han expuesto las principales ventajas que estos dispositivos ofrecen, como su reducido tamaño y peso, coste económico y comodidad para su uso diario en el proceso de evaluación individual del entrenamiento. En el caso de los deportes colectivos, gracias a los sistemas telemétricos, es posible el análisis automático de múltiples atletas en tiempo real, permitiendo un feedback inmediato. El análisis del perfil psicofisiológico, la determinación de las zonas de entrenamiento o la detección de procesos de estrés-recuperación son algunas de las opciones que estos instrumentos nos permiten desarrollar.

Por otro lado, los datos revisados en este texto sugieren que la incorporación de la VFC en el control diario del entrenamiento podría ser una herramienta útil para su optimización. Con este fin, las monitorizaciones de corta duración (e.g. 5 minutos) en reposo al despertar con una frecuencia de 3-4 veces por semana parece el método más adecuado para su evaluación. El establecimiento de una línea base y la consideración de la fase de entrenamiento, edad, género, el error típico individual en la medida y el

“Smallest Worthwhile Change”, son factores esenciales para la correcta interpretación de los datos como muestran las evidencias.

La combinación de esta variable con otro tipo de métodos de evaluación no invasivos (e.g. test psicométricos), podría ser la metodología que ofreciera una información completa para configurar las tareas de entrenamiento de forma eficaz y obtener el máximo rendimiento.

3.7 Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Secretaría de Investigación, Desarrollo e Innovación del Ministerio de Economía DEP2012-32124.

3.8 Referencias

- Achten, J., y Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 33(7), 517–538.
- Al Haddad, H., Laursen, P. B., Chollet, D., Ahmaidi, S., y Buchheit, M. (2011). Reliability of resting and postexercise heart rate measures. *International Journal of Sports Medicine*, 32(8), 598–605. <http://doi.org/10.1055/s-0031-1275356>
- Astrand, P., y Rodahl, K. (1986). Textbook of Work Physiology (McGraw Hil, pp. 1–11). New York.
- Aubert, A. E., Seps, B., y Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 33(12), 889–919. <http://doi.org/10.2165/00007256-200333120-00003>
- Bara-filho, M. G., Freitas, D. S., Moreira, D., Matta, M. D. O., Lima, J. R. P. De, y Nakamura, F. Y. (2013). Heart rate variability and soccer training: a case study. *Motriz*, 19(1), 171–177. <http://doi.org/10.1590/S1980-65742013000100017>

- Belloch, S. L., y Forner, A. (1999). Frecuencia cardíaca en tiempo real y por telemetría para aplicaciones acuáticas. *Apunts: Educación Física Y Deportes*, 55, 10–13.
- Billman, G. E. (2011). Heart rate variability - A historical perspective. *Frontiers in Physiology*, 2, 1–13. <http://doi.org/10.3389/fphys.2011.00086>
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 17–19. <http://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>
- Buchheit, M., Chivot, A., Parouty, J., Mercier, D., Al Haddad, H., Laursen, P. B., y Ahmaidi, S. (2010). Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function. *European Journal of Applied Physiology*, 108(6), 1153–1167. <http://doi.org/10.1007/s00421-009-1317-x>
- Buchheit, M., Papelier, Y., Laursen, P. B., y Ahmaidi, S. (2007). Noninvasive assessment of cardiac parasympathetic function: postexercise heart rate recovery or heart rate variability? *AJP: Heart and Circulatory Physiology*, 293(1), 8–10. <http://doi.org/10.1152/ajpheart.01339.2006>.
- Buchheit, M., Simon, C., Piquard, F., Ehrhart, J., y Brandenberger, G. (2004). Effects of increased training load on vagal-related indexes of heart rate variability: a novel sleep approach. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*, 287(6), 2813–2818. <http://doi.org/10.1152/ajpheart.00490.2004>
- Buchheit, M., Simpson, M. B., Al Haddad, H., Bourdon, P. C., y Mendez-Villanueva, A. (2012). Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 112(2), 711–723. <http://doi.org/10.1007/s00421-011-2014-0>
- Castellano, J., y Casamichana, D. (2014). Deporte con dispositivos de posicionamiento global (GPS): aplicaciones y limitaciones. *Revista de Psicología Del Deporte*, 23(2), 355–364.

- César, J., Blásquez, C., Rodas, G., y Ortís, L. C. (2009). Perfil psicofisiológico de rendimiento en nadadores basado en la variabilidad de la frecuencia cardíaca y en estados de ansiedad precompetitiva. *Revista de Psicología Del Deporte*, 18, 37–52.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*.
- Conconi, F., Grazi, G., Casoni, I., Guglielmini, C., Borsetto, C., Ballarin, E., ... Manfredini, F. (1996). The Conconi test: methodology after 12 years of application. *International Journal of Sports Medicine*, 17(7), 509–519. <http://doi.org/10.1055/s-2007-972887>
- Córdoba, E. P. (2011). Fisiología y psicología en el deporte: Aspectos conceptuales y metodológicos. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 2, 81-88.
- Cottin, F., Médigue, C., Leprêtre, P. M., Papelier, Y., Koralsztein, J. P., y Billat, V. (2004). Heart Rate Variability during Exercise Performed below and above Ventilatory Threshold. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 594–600. <http://doi.org/10.1249/01.MSS.0000121982.14718.2A>
- Flatt, A. A., y Esco, M. R. (2013). Validity of the ithlete™ Smart Phone Application for Determining Ultra-Short-Term Heart Rate Variability. *Journal of Human Kinetics*, 39(1), 85–92. <http://doi.org/10.2478/hukin-2013-0071>
- Gamelin, F. X., Baquet, G., Berthoin, S., y Bosquet, L. (2008). Validity of the polar S810 to measure R-R intervals in children. *International Journal of Sports Medicine*, 29(2), 134–138. <http://doi.org/10.1055/s-2007-964995>
- Gamelin, F. X., Berthoin, S., y Bosquet, L. (2006). Validity of the Polar S810 Heart Rate Monitor to Measure R-R Intervals at Rest. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(5), 887–893. <http://doi.org/10.1249/01.mss.0000218135.79476.9c>
- Garet, M., Tournaire, N., Roche, F., Laurent, R., Lacour, J. R., Barthélémy, J. C., y Pichot, V. (2004). Individual Interdependence between nocturnal ANS activity and

performance in swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(12), 2112–2118.

Goodie, J. L., Larkin, K. T., y Schauss, S. (2000). Validation of the Polar Heart Rate Monitor for Assessing Heart Rate During Physical and Mental Stress. *Journal of Psychophysiology*, 14(3), 159–164.

Hautala, A. J., Kiviniemi, A. M., Mäkikallio, T. H., Kinnunen, H., Nissilä, S., Huikuri, H. V., y Tulppo, M. P. (2006). Individual differences in the responses to endurance and resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, 96(5), 535–542. <http://doi.org/10.1007/s00421-005-0116-2>

Hautala, A., Tulppo, M. P., Mäkikallio, T. H., Laukkanen, R., Nissilä, S., y Huikuri, H. V. (2001). Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. *Clinical Physiology*, 21(2), 238–245. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2281.2001.00309.x>

Hedelin, R., Wiklund, U., Bjerle, P., y Henriksson-Larsén, K. (2000). Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Medicine and science in sports and exercise*, 32, 1531–1533.

Hopkins, W. G. (2004). How interpret changes in an athletic performance test. *Sportscience*, 8, 1–7.

Hopkins, W. G. (2007). A Spreadsheet for Deriving a Confidence Interval, Mechanistic. *Sportscience*, 11, 16–20.

Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., y Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–12. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>

- Horne, J. A., y Minard, A. (1985). Sleep and sleepiness following a behaviourally “active” day. *Ergonomics*, 28(3), 567–75. <http://doi.org/10.1080/00140138508963171>
- Hug, B., Heyer, L., Naef, N., Buchheit, M., Wehrlin, J. P., y Millet, G. P. (2014). Tapering for marathon and cardiac autonomic function. *International Journal of Sports Medicine*, 35(8), 676–683. <http://doi.org/10.1055/s-0033-1361184>
- Kaikkonen, H., Karppinen, T., y Laukkanen, R. (1997). Recovery and overtraining detection in male orienteers before, during and after intensive training period. Norway, Oslo.
- Kaikkonen, P., Hynynen, E., Mann, T., Rusko, H., y Nummela, A. (2010). Can HRV be used to evaluate training load in constant load exercises? *European Journal of Applied Physiology*, 108(3), 435–442. <http://doi.org/10.1007/s00421-009-1240-1>
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., Nissilä, J., Virtanen, P., Karjalainen, J., y Tulppo, M. P. (2010). Daily exercise prescription on the basis of hr variability among men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(7), 1355–1363. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181cd5f39>
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., y Tulppo, M. P. (2007). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal of Applied Physiology*, 101(6), 743–751. <http://doi.org/10.1007/s00421-007-0552-2>
- Laukkanen, R. M. T., y Virtanen, P. K. (1998). Heart rate monitors: State of the art. *Journal of Sports Sciences*, 16, 3–7. <http://doi.org/10.1080/026404198366920>
- Leger, L., y Thivierge, M. (1988). Heart rate monitors: validity, stability, and functionality. / Moniteurs de fréquence cardiaque: validite stabilite et fonctionnalite. *Physician and Sportsmedicine*, 16(5), 143–146;148–149;151.

- Manzi, V., Castagna, C., Padua, E., Lombardo, M., D'Ottavio, S., Massaro, M., ... Iellamo, F. (2009). Dose-response relationship of autonomic nervous system responses to individualized training impulse in marathon runners. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*, 296(6), 1733–1740. <http://doi.org/10.1152/ajpheart.00054.2009>
- Menaspà, P., Impellizzeri, F. M., Haakonssen, E. C., Martin, D. T., y Abbiss, C. R. (2014). Consistency of Commercial Devices for Measuring Elevation Gain. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(5), 884–886.
- Morales, J., Garcia, V., García-Massó, X., Salvá, P., Escobar, R., y Buscà, B. (2013). The use of heart rate variability in assessing precompetitive stress in high-standard judo athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 34(2), 144–51. <http://doi.org/10.1055/s-0032-1323719>
- Mujika, I., Goya, A., Padilla, S., Grijalba, A., Gorostiaga, E., y Ibañez, J. (2000). Physiological responses to a 6-d taper in middle-distance runners: influence of training intensity and volume. *Medicine and science in sports and exercise*, 32, 511–517.
- Myllymäki, T., Kyröläinen, H., Savolainen, K., Hokka, L., Jakonen, R., Juuti, T., ... Rusko, H. (2011). Effects of vigorous late-night exercise on sleep quality and cardiac autonomic activity. *Journal of Sleep Research*, 20, 146–153. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2010.00874.x>
- Noce, F., y de Moura Simim, M. A. (2009). Análise dos fatores estressantes que interferem no rendimento do atleta de natação no período pré-competitivo. *Revista Iberoamericana de Psicología Del Ejercicio Y El Deporte*, 4(1), 45–58.

- Nummela, A., Hynynen, E., Kaikkonen, P., y Rusko, H. (2010). Endurance performance and nocturnal HRV indices. *International Journal of Sports Medicine*, 31(3), 154–159. <http://doi.org/10.1055/s-0029-1243221>
- Nunan, D., Donovan, G., Jakovljevic, D. G., Hodges, L. D., Sandercock, G. R. H., y Brodie, D. A. (2009). Validity and Reliability of Short-Term Heart-Rate Variability from the Polar S810. *Medicine y Science in Sports y Exercise*, 41(1), 243–250.
- Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J. M., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P., ... Barthélémy, J. C. (2000). Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(10), 1729–1736. <http://doi.org/10.1097/00005768-200010000-00011>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., y Buchheit, M. (2012). Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training A case comparison. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3729–3741. <http://doi.org/10.1007/s00421-012-2354-4>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., y Buchheit, M. (2013). Evaluating training adaptation with heart-rate measures: A methodological comparison. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(6), 688–691.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., y Buchheit, M. (2014). Heart-Rate Variability and Training-Intensity Distribution in Elite Rowers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 1026–1032. <http://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0497>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., y Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(9), 773–781. <http://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>

- Quintana, D. S., Heathers, J. A. J., y Kemp, A. H. (2012). On the validity of using the Polar RS800 heart rate monitor for heart rate variability research. *European Journal of Applied Physiology*, 112(12), 4179–4180. <http://doi.org/10.1007/s00421-012-2453-2>
- Rodas, G., Pedret, C., Ramos, J., y Capdevila, L. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardíaca: Concepto, medidas y relación con aspectos clínicos (parte II). *Archivos de Medicina Del Deporte*, 25(124), 119–127.
- Sánchez, J. M., Romero, E. P., y Ortís, L. C. (2013). Variabilidad de la frecuencia cardíaca y perfiles psicofisiológicos en deportes de equipo de alto rendimiento. *Revista de Psicología Del Deporte*, 22(2), 345–352.
- Schäfer, D., Gjerdalen, G. F., Solberg, E. E., Khokhlova, M., Badtieva, V., Herzig, D., ... Wilhelm, M. (2015). Sex differences in heart rate variability: a longitudinal study in international elite cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology*, 3190–3200. <http://doi.org/10.1007/s00421-015-3190-0>
- Seaward, B. L., Sleamaker, R. H., McAuliffe, T., y Clapp, J. F. (1990). The precision and accuracy of a portable heart rate monitor. *Biomedical Instrumentation and Technology / Association for the Advancement of Medical Instrumentation*, 24(1), 37–41.
- Seiler, S., Haugen, O., y Kuffel, E. (2007). Autonomic recovery after exercise in trained athletes: Intensity and duration effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(8), 1366–1373. <http://doi.org/10.1249/mss.0b013e318060f17d>
- Stanley, J., Peake, J. M., y Buchheit, M. (2013). Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: Implications for training prescription. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(12), 1259–1277. <http://doi.org/10.1007/s40279-013-0083-4>

- Storck, N., Ericson, M., Lindblad, L., y Jensen-Urstad, M. (2001). Automatic computerized analysis of heart rate variability with digital filtering of ectopic beats. *Clinical Physiology*, 21(1), 15–24.
- Task Force. (1996). Guidelines Heart rate variability. *European Heart Journal*, 17, 354–381. <http://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
- Torralba, E. B., Ramón, M. M., y Lerma, F. S. i. (2009). La subescala confusión del POMS como indicador del impacto de la carga de entrenamiento en corredores de fondo y mediofondo. *Revista Iberoamericana de Psicología del Ejercicio y el Deporte*, 4(2), 289–304.
- Vesterinen, V., Häkkinen, K., Hynynen, E., Mikkola, J., Hokka, L., y Nummela, A. (2013). Heart rate variability in prediction of individual adaptation to endurance training in recreational endurance runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 23(2), 171–180. <http://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01365.x>
- Wallace, L. K., Slattery, K. M., y Coutts, A. J. (2014). A comparison of methods for quantifying training load: relationships between modelled and actual training responses. *European Journal of Applied Physiology*, 114(1), 11–20. <http://doi.org/10.1007/s00421-013-2745-1>
- Wallén, M. B., Hasson, D., Theorell, T., Canlon, B., Osika, W., y Ward, S. a. (2012). Possibilities and limitations of the polar RS800 in measuring heart rate variability at rest. *European Journal of Applied Physiology*, 112(3), 1153–1165. <http://doi.org/10.1007/s00421-011-2079-9>
- Wieters, K. M., Jun-Hyun Kim, y Chanam Lee. (2012). Assessment of Wearable Global Positioning System Units for Physical Activity Research. *Journal of Physical Activity y Health*, 9(7), 913–923.

Capítulo 4

La variabilidad de la frecuencia cardíaca como herramienta de control de los procesos de adaptación en ultra-resistencia: un estudio de casos.

4 Capítulo 4: La variabilidad de la frecuencia cardíaca como herramienta de control de los procesos de adaptación en ultra-resistencia: un estudio de casos.

4.1 Resumen

El propósito de esta investigación es evaluar la utilidad de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) para diferenciar estados de sobrecarga funcional (SF) y estados de sobrecarga no-funcional (SNF) en ultra-resistencia. Además, pretende terminar la relación entre los índices cardiovasculares y los parámetros psicológicos: calidad de sueño (CS), estados de ánimo y estrés social (ES). Para ello, se monitorizaron diariamente en un atleta experimentado la VFC, la frecuencia cardíaca en reposo (FCR), los equivalentes de carga subjetiva (RPEs) y objetiva (ECOs) durante un período de 25 semanas. La temporada fue dividida en tres períodos de acuerdo al calendario de competición. La diferencia entre los periodos fue determinada mediante la prueba ANOVA unidireccional. Los resultados muestran una reducción en el índice Ln pNN50 en el tercer período cuando es comparado con el primero o el segundo, y un incremento de Ln FCR en el último período cuando es comparado con el segundo ($p < 0.05$). La relación entre Ln rMSSD y los intervalos RR fue identificada como lineal ($r^2 = 0.78$) en el tercer período. El coeficiente de correlación de Pearson revela una correlación negativa entre Ln FCR y CS, y positiva entre ES y la puntuación en la escala de estados de ánimo (POMS). El parámetro Ln pNN50 correlacionó de forma positiva con la CS ($p < 0.01$). Este trabajo sugiere que la FCR y la VFC podría ser un marcador de la progresión del estado de forma, así como un posible predictor de los estados de SNF.

4.2 Introducción

En el deporte de competición, las estrategias para incrementar el rendimiento es uno de los principales intereses tanto para científicos como entrenadores. Actualmente, tanto la cuantificación del entrenamiento como los métodos de control sobre las cargas de trabajo se consideran fundamentales para optimizar el desarrollo del deportista durante los diferentes períodos de la planificación deportiva (Borresen y Lambert, 2009; Wallace, Slattery, y Coutts, 2014). Específicamente, en el caso de disciplinas como las de ultra-resistencia, debido a su larga duración, es necesario gestionar múltiples factores, tales como las estrategias nutricionales (Knechtle, 2013) o variables de tipo psicológico (Breslin, Murphy, Kremer, McClean, y Davison, 2014). Esto exige que la preparación para este tipo de pruebas requiera un control muy complejo y exhaustivo de la intensidad de las tareas durante la temporada (Zaryski y Smith, 2005).

Los limitados períodos de recuperación entre competiciones de estas características, además de los altos volúmenes de entrenamiento, pueden provocar períodos de fatiga prolongados e inducidos por la aparición del denominado estado de sobrecarga no funcional (SNF) (Meeusen et al., 2013). Los efectos negativos que se derivan de esta etapa, previa al síndrome de sobre-entrenamiento (SS), han sido ampliamente estudiados (Halsen y Jeukendrup, 2004). Sin embargo, hasta la actualidad no se han logrado identificar síntomas específicos que alerten de su posible aparición y poder abordar así estrategias de prevención o tratamiento (Halsen y Jeukendrup, 2004; Meeusen et al., 2013). Conocer este fenómeno es uno de los principales retos para científicos y entrenadores, sobre todo por la similitud sintomática al de una fase de sobrecarga funcional (Slivka, Hailes, Cuddy, y Ruby, 2010), la cual es considerada necesaria para mejorar el estado de forma del deportista.

Pocos autores han investigado los riesgos derivados de una incorrecta periodización a largo plazo o el impacto que una competición de este tipo puede provocar sobre el organismo (Edler, Wassink, Kahanov, y Lindsey, 2014; Stelzer et al., 2015). Tradicionalmente, en la monitorización del proceso estrés-recuperación participan los sistemas de cuantificación de la carga de trabajo (Wallace et al., 2014) y los indicadores de fatiga como las concentraciones de lactato, el perfil de creatina-quinasa o la urea, que representan la respuesta individual del atleta (Bouchard y Rankinen, 2001; Hautala et al., 2006) ante el estímulo de entrenamiento. Sin embargo, estos métodos son invasivos y no pueden aplicarse frecuentemente (Buchheit, 2014). Para mejorar la interpretación de los efectos del entrenamiento, algunos autores han propuesto el control de la frecuencia cardíaca en reposo (FCR) (Bosquet, Merkari, Arvisais, y Aubert, 2008), así como el uso de cuestionarios psicométricos (Nederhof, Zwerver, Brink, Meeusen, y Lemmink, 2008) como medidas complementarias. aunque deberían ser instrumentos complementarios.

Aunque el registro de la actividad cardíaca se refiere normalmente al número de latidos en un espacio de tiempo determinado, debido a los avances tecnológicos, recientemente los investigadores han centrado su atención en la variación de tiempo (en milisegundos) entre latidos o variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) (Billman, 2011) como instrumento de control de las adaptaciones al entrenamiento. El uso de este parámetro permite evaluar de forma no-invasiva, rápida y eficaz (Task Force, 1996), el estado de equilibrio entre el sistema nervioso parasimpático (SNP) y el sistema nervioso simpático (SNS), que conforman el sistema nervioso autónomo (SNA). El estudio de la respuesta del SNA ante los estímulos del entrenamiento deportivo (Foulds et al., 2014; A. Hautala et al., 2001; Hedelin, Wiklund, Bjerle, y Henriksson-Larsén, 2000; Seiler, Haugen, y Kuffel, 2007) sugiere que la VFC podría utilizarse como herramienta de

control de los procesos adaptativos y prevención de la aparición de estados de sobrecarga no funcional (Buchheit, 2014).

Según se desprende de algunas investigaciones, esta medida podría tener un amplio espectro de aplicación, mostrándose asociaciones entre la VFC con el rendimiento deportivo (Garet et al., 2004; Nummela, Hynynen, Kaikkonen, y Rusko, 2010) o incluso con parámetros de tipo psicológico como los estados de ánimo (Sánchez, Romero, y Ortís, 2013; Weinstein, Deuster, y Kop, 2007). Sin embargo, los resultados respecto a la utilidad de la VFC para predecir el SS o SNF son contradictorios. Mientras que algunos autores muestran reducciones (Hynynen, Uusitalo, Konttinen, y Rusko, 2006; Plews, Laursen, Kilding, y Buchheit, 2012) otros hallaron aumentos (Hedelin et al., 2000) en los índices relacionados con la actividad vagal durante períodos donde el deportista experimentaba este tipo de síntomas. Plews et al. (2012) sugieren que este hecho podría ser debido a las inconsistencias metodológicas observadas en los estudios realizados.

Aunque algunos autores (Buchheit, 2014; Plews et al., 2012) destacan la importancia de establecer una línea basal para estudiar las diferencias intra-individuales (Al Haddad, Laursen, Chollet, Ahmaidi, y Buchheit, 2011), pocas investigaciones han considerado su inclusión (Plews et al., 2012; Plews, Laursen, Kilding, y Buchheit, 2014; Plews, Laursen, Stanley, Kilding, y Buchheit, 2013). Otra limitación se refiere a la diversidad de métodos de evaluación de la VFC (Task Force, 1996). Por un lado, algunos estudios han utilizado índices de VCF nocturna (Nummela et al., 2010; Pichot et al., 2000) mientras que otros trabajos han evaluado esta variable en estados de reposo al despertar (Plews et al., 2012) o post-ejercicio (Buchheit, Simpson, Al Haddad, Bourdon, y Mendez-Villanueva, 2012). Por último, la mayoría de los estudios basan sus conclusiones en puntuaciones aisladas registradas en diferentes fases de la investigación.

Plews et al., 2012 advierte del alto grado de variación entre los valores diarios de la VFC, que pueden ser influenciados por factores tales como la temperatura o la humedad (Task Force, 1996).

Dada la escasez de investigaciones que tratan este aspecto en las disciplinas de ultra-resistencia y las inconsistencias metodológicas que dificultan la interpretación de los resultados existentes (Buchheit, 2014), se requiere una mayor investigación para evaluar el potencial de la VFC como método de control del proceso estrés-recuperación en deportistas. Debido a estas consideraciones, el presente trabajo pretende analizar la capacidad de la VFC para diferenciar fases de sobrecarga funcional y no funcional inducidas por la competición y los periodos de carga durante la temporada. Asimismo, esta investigación trata de determinar las relaciones entre la VFC y algunas variables psicológicas que pueden determinar el rendimiento, como la calidad de sueño, el estado de ánimo y el estrés social. Por último, este estudio pretende comparar los sistemas de cuantificación tradicionales y la monitorización de los índices de actividad vagal como herramientas de control del proceso adaptativo.

4.3 Método

Muestra

En este estudio se analizó la temporada de un corredor recreacional (42 años; peso 79.2 kg; altura 182 cm; VO_{2max} 43.9 ml/kg/min; FC_{max} 178, FC_{reposo} 45) de ultra-resistencia con más de cinco años de experiencia en la especialidad de carreras de montaña.

Procedimiento

Este trabajo ha sido desarrollado respecto a los principios de la Declaración de Helsinki (WMA 2000, Bošnjak 2001, Tyebkhan 2003) que describen los principios éticos fundamentales y el marco de la investigación en humanos. Para este fin, se obtuvo el consentimiento informado para la cesión y tratamiento de los datos durante esta investigación por parte del deportista. A lo largo de este período el atleta participó en diferentes eventos deportivos. Una media maratón de montaña y una maratón de montaña compusieron las pruebas preparatorias. La principal competición en el calendario fue una ultra-maratón de 76.7 km y 8086 metros de desnivel acumulado.

En total fueron monitorizadas 25 semanas de entrenamiento que fueron divididas en tres períodos: semanas 1-12, 13-19 y 20-25. El volumen semanal (8.1 ± 3.4 horas) se compuso de varias disciplinas deportivas: natación ($18.5\% \pm 7.2\%$), carrera ($49.3\% \pm 15.9\%$), ciclismo ($16.5\% \pm 11.6\%$) y entrenamiento de fuerza ($16.3\% \pm 7.2\%$). La distribución de la intensidad fue realizada en base al modelo de tres zonas propuesto por Seiler (2010), realizando el 69.8%, 13% y 17.1% del volumen total en las zonas 1, 2 y 3 respectivamente. En la parte final de la temporada, el atleta encontró dificultades para mantener los ritmos de entrenamiento, llegando a concluir la competición principal con una duración superior en un 10.5% del tiempo estimado. El técnico informó de una posible SNF que luego confirmaron los resultados.

Cuantificación de la carga

La carga de entrenamiento fue cuantificada diariamente en base a dos sistemas. Por un lado, el atleta ingresaba la duración de la tarea para cada zona de entrenamiento en una hoja de cálculo Excel. Posteriormente, se computaron los equivalentes de carga objetiva (ECOs) (Cejuela y Esteve-Lanao, 2011). Además, se asignaba una puntuación

de esfuerzo percibido por sesión para el cálculo de las unidades RPE (Foster et al., 2001).

Variables psicométricas

Se evaluó el estado de ánimo dos veces por semana a través del cuestionario POMS (McNair, Lorr, y Droppleman, 1971). Para este trabajo se utilizó la versión reducida de 6 ítems. La escala evalúa 6 factores de estado de ánimo: Ansiedad, Depresión, Confusión, Tensión, Vigor y Fatiga. El factor Vigor es el único cuya puntuación se considera positiva y, por tanto, se interpreta como un mejor estado de ánimo. La puntuación para cada dimensión se indica en una escala tipo Likert desde 0 (nada) hasta 4 (mucho). La puntuación total fue calculada para evaluar el resultado global. Con este fin, el resultado en el factor Vigor fue restado al conjunto de puntuaciones obtenidas de los factores negativos. Las puntuaciones negativas en este valor se consideraron como estados de ánimo óptimos; mientras que puntuaciones positivas fueron asociadas con estados de ánimo alterados.

Los índices calidad de sueño (CS) y estrés social (ES) fueron evaluados a través de dos subescalas ($\alpha = 0.82$; $\alpha = 0.79$, respectivamente) del cuestionario de Recuperación-Estrés (RESTQ Sport) (Kellmann y Kallus, 2001) adaptado al español (González-Boto, Salguero, Tuero, Márquez, y Kellmann, 2008). En ambos casos se indica de forma retrospectiva en una escala Likert desde 0 (nada) hasta 6 (mucho) el grado de acuerdo con los enunciados que muestran cada uno de los ítems, en total 4 para cada escala. De estos, la puntuación obtenida en uno de ellos se valora de forma negativa y, por tanto, resta al resultado global.

Variables fisiológicas

El registro de los intervalos RR fue realizado con un monitor de frecuencia cardíaca (Ambit II, Ssunto®, Vaanta, Finlandia). Buchheit (2014) sugiere que los índices relacionados con la VFC deben recogerse al menos entre 3-4 veces por semana. Para la inclusión de los datos en el análisis se estableció como criterio un mínimo de tres registros semanales. Ninguna semana fue excluida del proceso. Cada mañana el participante registró la VFC durante 5 minutos en reposo en posición supina al despertar (Al Haddad et al., 2011). De forma adicional, el equipo investigador recomendó al deportista dejar en un lugar cercano tanto el sensor pectoral como el dispositivo con el fin de reproducir condiciones similares durante todas las observaciones.

La corrección de los errores y procesamiento de los intervalos RR fue realizado mediante el software Kubios® HRV (V.2.2. OS-X, Universidad de Kuopio, Finlandia). Recientemente, varios autores han validado su uso para el análisis de la VFC en el ámbito científico (Johnsen-Lind, Helge-Johnsen, Hill, Sollers, y Thayer, 2011; Tarvainen, Niskanen, Lipponen, Ranta-Aho, y Karjalainen, 2014). Durante los registros, tanto el primer como el último minuto fueron descartados (Task Force, 1996). La frecuencia cardíaca en reposo (FCR) fue calculada sobre el promedio durante ese período. A partir de los datos obtenidos, se computaron dos indicadores de dominio temporal relacionados con la actividad vagal: la raíz cuadrada de la media de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR (rMSSD) y el porcentaje de los intervalos RR consecutivos que discrepan más de 50 ms entre sí (pNN50) (Task Force, 1996). Para reducir el sesgo las puntuaciones fueron transformadas a su logaritmo natural (Ln).

Análisis estadístico

Todas las variables fueron expresadas como promedios semanales. Los cambios entre semanas se establecieron respecto a una línea basal calculada sobre los datos correspondientes a las dos primeras semanas de entrenamiento. La valoración del cambio mínimo (SWC) fue considerado como $0.5 \times$ coeficiente de variación (CV) (Hopkins, 2004; Plews et al., 2012). La magnitud del efecto (ME) fue expresada como la diferencia de la media estandarizada (Cohen, 1988). En el caso de los parámetros psicológicos y cuantificación de la carga del entrenamiento, la ME fue calculada respecto a los datos de la semana anterior. Para su interpretación, se utilizaron los siguientes rangos: pequeño ($> 0.2-0.6$), mediano ($>0.6-1.2$), grande ($>1.2-2$) o muy grande (>2) (Hopkins, Marshall, Batterham, y Hanin, 2009). Por último, se estimaron los intervalos de confianza: muy improbable ($< 0.05\%$), casi sin certeza ($0.05-5\%$), muy poco probable ($5-25\%$), poco probable ($25-75\%$), posible ($75-95\%$), probable ($95-99.5\%$) y muy probable ($>99.5\%$) (Hopkins, 2007).

Para analizar las posibles diferencias entre el promedio de las ME de los parámetros de VLF, POMS, RPE, ECOs y volumen de entrenamiento se realizó un análisis de varianza unidireccional (ANOVA), siendo el factor el período de la temporada. Las comparaciones múltiples post-hoc fueron realizadas mediante la prueba estadística de Scheffé. Para aquellas variables que no cumplieron el supuesto de homogeneidad de varianzas (FCR, CS, ES) se realizó la prueba de Welch. La prueba estadística Games-Howell fue utilizada a posteriori para las comparaciones múltiples entre pares. Para comprobar las asociaciones entre la VFC y las variables psicológicas se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson. Del mismo modo, se analizaron las relaciones entre los índices de actividad vagal y los sistemas de cuantificación de la carga de trabajo. Para el procesamiento de los datos se usó el programa estadístico SPSS® v.21 OS-X.

Algunos autores (Buchheit, 2014) señalan que los descensos en los indicadores de actividad parasimpática podrían estar asociadas a niveles reducidos de FCR, y por tanto, es posible que se malinterpretasen como signos de una adaptación incorrecta al entrenamiento deportivo. Este fenómeno podría deberse a la saturación de los receptores de acetilcolina en el sistema nervioso periférico (Buchheit, 2014; Plews et al., 2012). Por esta razón, algunos autores sugieren utilizar la relación entre la longitud del intervalo RR e índices de la actividad vagal ($\ln rMSSD$) (Kiviniemi, 2004; Plews et al., 2012) para superar esta limitación. Debido a que el 81.5% de los valores de FCR registrados se situaron por debajo de 50 ppm, este método fue utilizado junto a las pruebas estadísticas para evaluar la diferencia entre los períodos analizados. Para ello, cada valor de $\ln rMSSD$ fue asociado a su correspondiente media de intervalos RR (ms) y posteriormente se representaron gráficamente como función de un modelo polinómico de segundo orden. Esta relación se identificó como "lineal", "saturada" o "no-correlacionada" (Kiviniemi, 2004).

4.4 Resultados

La Tabla 4 muestra la evolución de las variables analizadas durante la temporada. Durante el primer período (semanas 1-12) de la temporada se observó una gran reducción del volumen entre las semanas 6-7 ($ME=-1.5$) debido a que el atleta disfrutó de un período vacacional. Por otro lado, se observaron aumentos cuando se compararon las semanas 7-8 ($ME=0.28$), 9-10 ($ME=0.47$) y 10-11 ($ME=0.64$). Respecto a los sistemas de cuantificación de la carga de trabajo, el método RPE registró aumentos moderados entre las semanas 3-4 ($ME=0.66$) y 5-6 ($ME=0.74$) y pequeños entre 7-8 ($ME=0.34$). La programación del descenso del volumen e intensidad en la semana 4 fue registrado sólo por el sistema RPE ($ME=-0.89$). No obstante, ambos métodos sí se

mostraron sensibles durante el período vacacional (RPE, ME=-1.2; ECOs, ME=-1.2). El sistema ECOs mostró una dinámica similar, identificando aumentos entre las semanas 5-6 (ME=0.37), 7-8 (ME=0.61) y 9-10 (ME=0.69).

La estructura de este ciclo tuvo como fin el aumento del estado de forma en el atleta para afrontar la primera competición de la temporada en la última semana. Para esta etapa se realizaron 67 registros de la VFC. El parámetro Ln rMSSD no reveló descensos respecto a la línea basal establecida. Los registros señalaron incrementos en este índice que podrían ser interpretados como señales de adaptación positiva al entrenamiento. Sin embargo, podría existir una tendencia de decrecimiento para Ln rMSSD entre las semanas 6-7 y 7-8. Esta disminución fue confirmada tras el análisis del Ln pNN50 y el Ln FCR. Tanto en el primer caso (Ln pNN50, ME=-0.76, 54/24/22%; Ln FCR, ME=2.01, 17/15/76%) como el segundo (Ln pNN50, ME=-0.69, 23/22/75%; Ln FCR, ME=0.63, 18/23/59%) los datos sugieren que, a pesar del escaso volumen de entrenamiento, el estado de forma podría haber empeorado. En esta línea, la escala POMS mostró un perfil alterado en la semana 8 respecto a la anterior (ME=0.57).

El segundo período (semanas 13-19) comenzó con una semana regenerativa tras la primera competición preparatoria. Todas las variables de carga: volumen, RPE y ECOs, registraron el cambio (ME=-0.51; ME=-0.76; ME=-0.66, respectivamente). Del mismo modo, se observaron posibles aumentos en los índices de actividad parasimpática (Ln rMSSD, ME=1.23, 11/17/72%; Ln pNN50, ME=0.8, 17/22/61%). En este ciclo se realizaron un total de 45 registros de VFC de los 49 posibles. Durante esta fase no se produjeron puntuaciones por debajo de la línea basal para los indicadores de actividad vagal, o por encima en el caso de Ln FCR. El atleta informó al equipo investigador de las buenas sensaciones durante esta etapa de entrenamiento. La Tabla 4 muestra como

el Ln rMSSD y Ln pNN50 se mantuvieron en valores superiores respecto al estado de forma inicial. Del mismo modo, los niveles de FCR fueron bajos hasta la semana correspondiente a la segunda competición.

El esfuerzo realizado durante del evento en la semana 19 fue exhaustivo para el atleta debido a las altas temperaturas. Pese a estas circunstancias, el deportista finalizó el recorrido en un tiempo inferior al del año anterior. Sin embargo, el impacto sobre el organismo se reflejó en las semanas posteriores. Aunque los sistemas de cuantificación registraron una disminución de la carga de trabajo entre las semanas 19-20 (RPE, ME=-0.34; ECOs, ME=-0.48), los índices de VFC se redujeron considerablemente (Ln rMSSD, ME=-1.84, 95/3/8%; Ln pNN50=-1.94, 98/1/1%) y la FCR aumentó (ME=1.41, 3/6/91%) en relación a la base individual.

A partir de este momento, el atleta tuvo dificultades para mantener la intensidad y los ritmos de entrenamiento. En concordancia, la Tabla 4 muestra como desde la semana 22 hasta la semana de la competición principal, el Ln FCR mantiene niveles por encima línea basal. También se registraron puntuaciones altas en la escala de estrés social (ME=0.76), un perfil alterado del estado de ánimo (ME=0.59) y una menor calidad de sueño (ME=-0.76) entre las semanas 21-22. Estos datos podrían ser relacionados con la aparición de una fase de SNF (Halsen y Jeukendrup, 2004; Plews et al., 2012). Sin embargo, los índices de VFC no mostraron cambios a excepción de la última semana, donde ambos se redujeron (Ln rMSSD, ME=-2, 48/26/26%; Ln pNN50=-2.99, 84/10/6%), disminuyendo además la calidad de sueño notablemente (ME=-2.93). Para este período se realizaron 29 mediciones de los parámetros cardiovasculares. Los resultados de estudio se basaron en un total de 141 registros de la VFC.

Respecto a los análisis estadísticos realizados con el software SPSS®, los resultados de la prueba Shapiro-Wilk fueron adecuados ($p > 0.05$) para todas las variables

implicadas. El análisis ANOVA revela diferencias significativas entre períodos para ME FCR [$F(2,22) = 3.9$, $MSE = 0.15$, $\omega^2 = 0.6$, $p < 0.05$] y ME pNN50 [$F(2,24) = 3.6$, $MSE = 1.2$, $\omega^2 = 0.2$, $p < 0.05$]. La Figura 3 muestra los resultados de las comparaciones múltiples post-hoc en ambos parámetros. Así, la actividad parasimpática (Ln pNN50) decrece significativamente en el último período respecto al primero ($p < 0.05$) y el segundo ($p < 0.05$). La ME FCR muestra el comportamiento contrario, identificándose una reducción del primer al segundo período ($p < 0.05$), y un aumento significativo en la última etapa respecto al anterior ($p < 0.05$). No se hallaron diferencias significativas para el parámetro ME rMSSD. Sin embargo, la Figura 4 revela un modelo no correlacionado para la relación entre Ln rMSSD y la media de los intervalos RR en los dos primeros períodos, a diferencia del tercero donde fue identificado como lineal.

Durante el período analizado, el 48% de los registros de Ln rMSSD se situaron por encima del límite superior del SWC. De estos, el 90% de los puntos fueron localizados entre el primer y el segundo período. Sólo el 1% de los valores sobrepasó el límite inferior del SWC establecido, localizándose en el tercer período. Sin embargo, el 28% de los promedios semanales de Ln FCR se localizaron por encima del límite superior, es decir, mostraron aumentos. De estos, el 57% tuvieron lugar en el tercer período. La prueba de correlación de Pearson reveló asociaciones entre las variables fisiológicas y psicológicas. Por un lado, el Ln FCR se asoció de forma negativa con CS ($r = -0.45$, $p < 0.01$) y positiva con SS ($r = -0.41$, $p < 0.05$) y POMS ($r = 0.5$, $p < 0.01$). En el caso de la VFC, se observó una correlación positiva entre Ln pNN50 y CS ($r = 0.51$, $p < 0.01$). No se encontraron asociaciones entre las variables fisiológicas o psicológicas respecto a los sistemas de cuantificación de la carga de trabajo. La relación entre ambos métodos fue alta ($r = 0.86$, $p < 0.001$).

Tabla 4. Descriptivos de las variables analizadas durante la temporada organizada por semana.

Semana	Volumen Total (hs)	RPE Total	ECOs Total	Ln rMMSD $M \pm SD$	Ln pNN50 $M \pm SD$	Ln FCR $M \pm SD$	Ca. Sueño $M \pm SD$	Es. Social $M \pm SD$	POMS $M \pm SD$
Línea basal				4.13 ± 0.18	3.74 ± 0.19	3.89 ± 0.06			
1	5.5	517	736	4.08 ± 0.20	3.65 ± 0.23	3.88 ± 0.07	18	0	-1.14 ± 1.95
2 (1-2)	6.2	441	536	4.17 ± 0.17	3.82 ± 0.12	3.89 ± 0.05	17 ± 2.65^b	0	-1.14 ± 1.95
3 (2-3)	7.4	456	327	4.43 ± 0.15^3	3.89 ± 0.23^2	3.92 ± 0.05^2	18^b	0	-0.86 ± 1.46
4 (3-4)	7.2	936 ^b	477	4.20 ± 0.13	3.77 ± 0.24	3.91 ± 0.02^2	18	0	-1.14 ± 1.95
5 (4-5)	4.4	338 ^b	500	4.34 ± 0.39^2	3.68 ± 0.52	3.85 ± 0.03^2	18	0	-1.14 ± 1.95
6 (5-6)	7.3	933 ^b	834 ^a	4.42 ± 0.27^3	3.92 ± 0.27^2	3.84 ± 0.07^2	18	0	-1.14 ± 1.95
7 (6-7)	1.3 ^c	156 ^c	145 ^c	4.19 ± 0.07	3.62 ± 0.14^2	3.96 ± 0.01^4	18	0	-1.14 ± 1.95
8 (7-8)	5.4 ^a	487 ^a	543 ^b	4.07 ± 0.25	3.44 ± 0.69^2	3.94 ± 0.12^2	18	0	0.14 ± 2.54^b
9 (8-9)	6.6	628	489	4.53 ± 0.26^3	4.11 ± 0.14^4	3.81 ± 0.05^3	18	0	-1.14 ± 1.95^b
10 (9-10)	8.2 ^a	789	1027 ^b	4.45 ± 0.16^3	3.95 ± 0.27	3.79 ± 0.02^4	18	0	-1.14 ± 1.95
11 (10-11)	10.7 ^b	1001	1105	4.41 ± 0.17^3	4.01 ± 0.20^3	3.83 ± 0.03^3	18	0	-1.14 ± 1.95
12 (11-12)	8.7	864	1576	4.17 ± 0.29	3.66 ± 0.26	3.84 ± 0.05^2	18	0	-1.14 ± 1.95
13 (12-13)	5.7 ^a	357 ^b	604 ^b	4.37 ± 0.21^3	3.91 ± 0.24^3	3.84 ± 0.06^2	18	0	-1.14 ± 1.95
14 (13-14)	8 ^a	515 ^a	1082 ^a	4.22 ± 0.23	3.85 ± 0.28	3.89 ± 0.09	18	0	-1.14 ± 1.95
15 (14-15)	9.1	614	1391	4.19 ± 0.06	3.82 ± 0.13	3.83 ± 0.05^2	18	0	-1.14 ± 1.95
16 (15-16)	7.5	514 ^a	749	4.30 ± 0.23^2	3.87 ± 0.22^2	3.80 ± 0.05^3	18	0	-1.14 ± 1.95
17 (16-17)	11.3 ^b	1017 ^b	1208 ^a	4.45 ± 0.11^4	4.04 ± 0.09^4	3.78 ± 0.04^4	18	0	-1.14 ± 1.95
18 (17-18)	12.8	949	1297	4.28 ± 0.25	3.83 ± 0.38	3.78 ± 0.06^3	18	0	-1.14 ± 1.95
19 (18-19)	11.5	1160	1699	4.47 ± 0.23^3	4.03 ± 0.19^3	3.80 ± 0.04^3	18	0	-1.14 ± 1.95
20 (19-20)	10.6	638 ^a	675 ^a	3.57 ± 0.39^3	2.99 ± 0.59^3	3.99 ± 0.08^3	18	0	-1.14 ± 1.95
21 (20-21)	8 ^a	530	1256 ^a	4.24 ± 0.13^2	3.70 ± 0.06	3.86 ± 0.03^2	18	0	-1.14 ± 1.95
22 (21-22)	10.3	598	1472	4.33 ± 0.18^2	3.80 ± 0.26	4.01 ± 0.37^1	16.1 ± 4.91^b	1.57 ± 4.16^b	0.29 ± 2.93^b
23 (22-23)	10.5	913 ^a	1887	4.24 ± 0.55	3.47 ± 0.62	3.88 ± 0.07	18^b	0^b	-1.14 ± 1.95^b
24 (23-24)	8	454 ^a	555 ^b	4.18 ± 0.30	3.64 ± 0.37	3.92 ± 0.06^1	18	0	-1.71 ± 2.14^a
25 (24-25)	16.5 ^a	2638 ^b	3138 ^b	4.05 ± 0.15^1	3.36 ± 0.07^4	3.98 ± 0.03^4	5.1 ± 8.78^d	0	-0.57 ± 1.51^b

La tonalidad oscura indica el período de *sobrecarga no funcional*. Las semanas destacadas en negrita son aquellas que contenían las competiciones de la temporada. Notas: ^{1,2,3,4} Magnitud del efecto (ME) respecto a la línea basal. ^{a,b,c,d} Magnitud del efecto (ME) respecto a la semana anterior (d Cohen: ^{1,a} pequeño: $d < 0.2-0.6$, ^{2,b} medio: $d > 0.6-1.2$, ^{3,c} grande: $d > 1.2-2$, ^{4,d} muy grande: $d > 2$). La ME sólo es indicada en caso de que el cambio sea superior a $0.5 \times CV$ (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009).

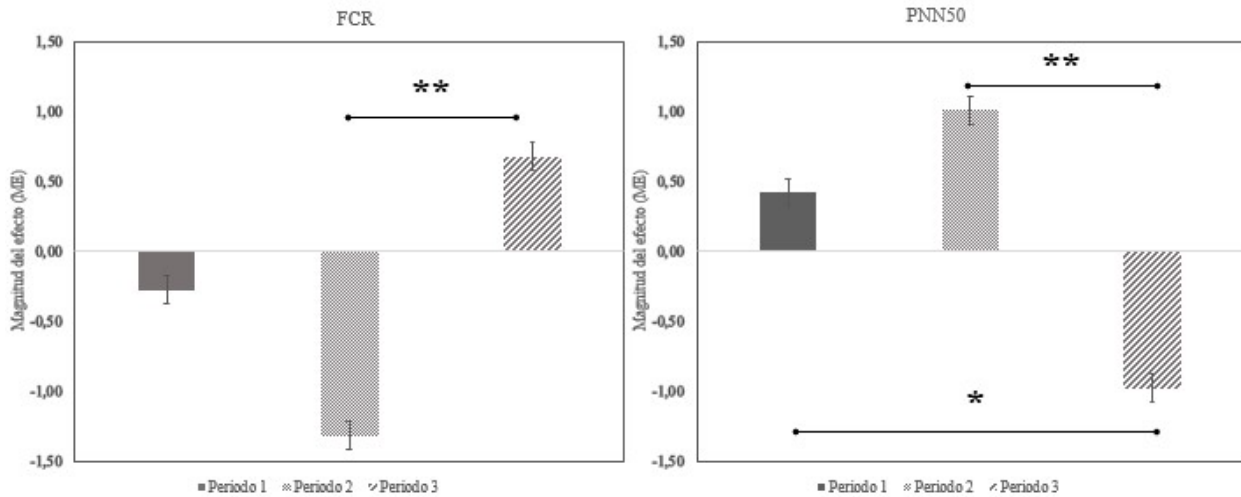


Figura 3. Diferencias de la magnitud del efecto (ME) entre periodos de competición.

** $p < 0.01$; * $p < 0.05$ (ANOVA unidireccional).

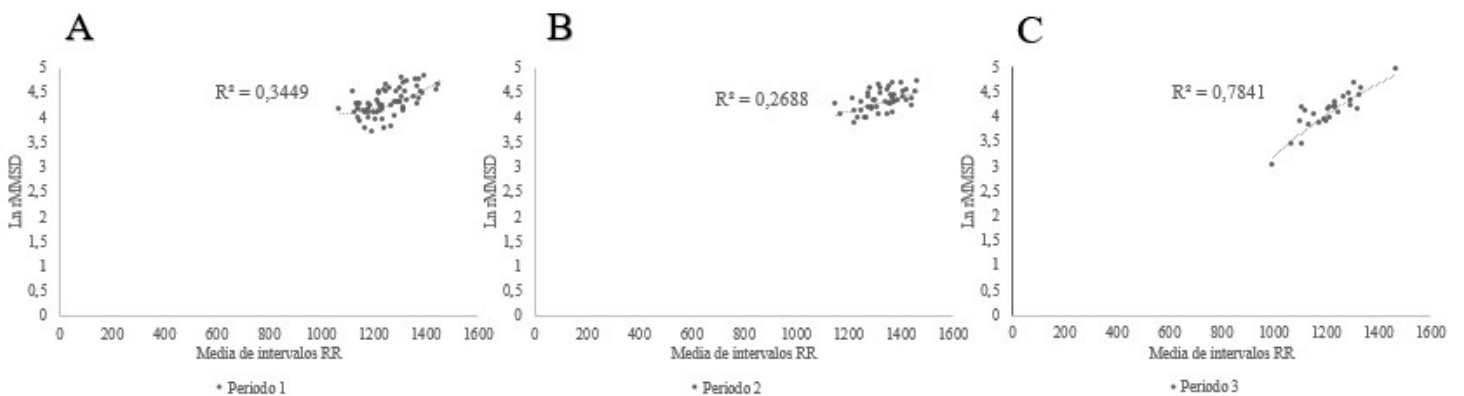


Figura 4. Relación entre Ln rMSSD e intervalos R-R. Los gráficos A y B representan el primer y segundo periodo (no se observa correlación). El gráfico C muestra una correlación lineal para el tercer periodo de la temporada.

4.5 Discusión

El propósito de este estudio fue determinar la utilidad de la VFC como instrumento de control del proceso estrés-recuperación, así como el estudio de las relaciones entre

esta variable, los parámetros psicológicos y los sistemas de cuantificación de la carga de entrenamiento. Aunque los resultados de la aplicación de test psicométricos han mostrado correlaciones significativas con la FCR o la VFC, la información que estas últimas ofrecen sobre la modulación del estado de forma describen de manera precisa los efectos de cada una de las semanas de entrenamiento, así como se observaron diferencias entre cada uno de los períodos analizados, discriminando períodos de adaptación positiva y negativa en comparación a los sistemas tradicionales.

El aumento de la frecuencia cardíaca en reposo o la disminución de la actividad parasimpática ($\ln pNN50$) podrían sugerir que el atleta padeció una fase de sobrecarga no funcional, del mismo modo que otros estudios (Aubert, Seps, y Beckers, 2003; Halson y Jeukendrup, 2004; Plews et al., 2012) han relacionado estos aspectos con la presunción de un estado de desequilibrio del proceso estrés-recuperación. Por otro lado, algunos autores (Bosquet et al., 2008) advierten de la necesidad de comparar este tipo de parámetros con otros indicadores sintomáticos de la SNF para su correcta interpretación. En esta línea, se observaron niveles de alteración de variables psicológicas relacionadas con este tipo de estados, como la disminución de la calidad de sueño (Hauswirth et al., 2014) o un estado de ánimo alterado (Halson y Jeukendrup, 2004).

En estudios previos realizados con atletas de élite (Plews et al., 2012) se observó como la relación de la longitud de los intervalos RR y el $\ln rMSSD$ variaba en función del estado del atleta, relacionando el comportamiento lineal con estados de SNF. Del mismo modo, en este trabajo se observó una disposición similar. Durante las dos primeras etapas la relación entre ambos índices fue identificada como no-correlacionada, mientras que la última correspondió a un modelo lineal (A. M. Kiviniemi, 2004). Por tanto, parece correcto determinar que el deportista sufrió un estado de SNF en el tercer

período de la preparación en base a los resultados obtenidos. Este hecho pondría de manifiesto que este fenómeno no sólo estaría relacionado con el tipo de población analizada, sino también con el historial de entrenamiento del atleta y los niveles de FCR. En esas circunstancias, la disociación entre la FCR y la VFC (Goldberger, Ahmed, Parker, y Kadish, 1994) debería ser cuidadosamente tratada para la correcta interpretación del estado de forma en atletas que no pertenezcan a grupos de élite.

El uso de métodos para cuantificar la carga de trabajo con el objetivo de controlar las ondulaciones de volumen e intensidad en los diferentes períodos parece adecuado respecto a las tareas que integran la planificación deportiva. Sin embargo, aunque algunos autores han defendido recientemente su utilización para evaluar el impacto del entrenamiento (Halsen, 2014), en este estudio no se hallaron relaciones entre las unidades de este tipo de sistemas y las variables fisiológicas o psicológicas analizadas. Este hecho sugiere que el control del proceso estrés-recuperación podría ser más preciso y eficaz mediante el uso de los parámetros cardiovasculares ($\ln rMSSD$, $\ln FCR$ o $\ln pNN50$) dada su aparente sensibilidad a los períodos monitorizados (carga, regeneración o competición), así como algunas investigaciones (Buchheit, 2014; Morales et al., 2013; Plews et al., 2013) han destacado.

Respecto a la prevención de los estados de SNF, el análisis de los promedios semanales de FCR parece un método más adecuado que aquellos relacionados con la actividad parasimpática. En este caso, este hecho podría estar relacionado con el fenómeno de saturación en el sistema nervioso periférico descrito anteriormente (Kiviniemi, 2004). El mantenimiento de este parámetro sobre el límite superior en 4 de las 6 semanas de la fase correspondiente al SNF, junto a los resultados del análisis ANOVA y su relación con las variables psicológicas analizadas, confirmó su utilidad frente a otros métodos. De forma adicional, el análisis complementario de la relación de

la media RR y el Ln rMSSD podría ser una instrumento útil para superar esa limitación práctica tal y como indican otros autores (Buchheit, 2014; Plews et al., 2012).

4.6 Conclusión

Las demandas del sistema de competición producen la necesidad del estudio de instrumentos dirigidos al control del proceso estrés-recuperación con el fin de optimizar las adaptaciones positivas del organismo al entrenamiento. Esta investigación ha mostrado cómo la monitorización diaria y el análisis de la FCR o VFC semana a semana respecto a una línea basal, podría ser una metodología aplicable y práctica en las disciplinas de ultra-resistencia para la prevención de estados de SNF u observación de fases de SF. En este sentido, el registro de variables psicométricas refuerza las decisiones e interpretación de los parámetros cardiovasculares. El uso de los sistemas tradicionales no ha mostrado una efectividad similar respecto a la variación de la respuesta individual del atleta. Dado que este es el primer estudio longitudinal realizado en el contexto de las disciplinas de ultra-resistencia, son necesarias más investigaciones que contengan muestras más amplias con el fin de confirmar los hallazgos que han acontecido en este trabajo.

4.7 Referencias

- Al Haddad, H., Laursen, P. B., Chollet, D., Ahmaidi, S., y Buchheit, M. (2011). Reliability of resting and postexercise heart rate measures. *International Journal of Sports Medicine*, 32(8), 598–605.
- Aubert, A. E., Seps, B., y Beckers, F. (2003). Heart Rate Variability in Athletes. *Sports Medicine*, 33(12), 889–919.

- Billman, G. E. (2011). Heart rate variability - A historical perspective. *Frontiers in Physiology*, 2, 1–13.
- Borresen, J., y Ian Lambert, M. (2009). The Quantification of Training Load, the Training Response and the Effect on Performance. *Sports Medicine*, 39(9), 779–795.
- Bosquet, L., Merkari, S., Arvisais, D., y Aubert, A. E. (2008). Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*, 42(9), 709–714.
- Bouchard, C., y Rankinen, T. (2001). Individual differences in response to regular physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 446–451.
- Breslin, G., Murphy, M. H., Kremer, J., McClean, C., y Davison, G. (2014). Providing Sport Psychology Support to an Athlete in a Unique, Ultra-Endurance Event. *Journal of Sport Psychology in Action*, 5(2), 59–72.
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 17–19.
- Buchheit, M., Simpson, M. B., Al Haddad, H., Bourdon, P. C., y Mendez-Villanueva, A. (2012). Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 112(2), 711–723.
- Cejuela, R., y Esteve-Lanao, J. (2011). Training load quantification in triathlon. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6, 218–232.
- Cohen, J. (1988). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences.
- Edler R., J., L. Wassink, M., Kahanov, L., y E. Lindsey, E. (2014). Ultra Endurance Athletes At-Risk. *International Journal of Athletic Therapy y Training*, 19(4), 10–13.

- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., ... Dodge, C. (2001). A New Approach to Monitoring Exercise Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109–115.
- Foulds, H. J. A., Cote, A. T., Phillips, A. A., Charlesworth, S. A., Bredin, S. S. D., Burr, J. F., ... Warburton, D. E. R. (2014). Characterisation of baroreflex sensitivity of recreational ultra-endurance athletes. *European Journal of Sport Science*, 14(7), 686–694.
- Garet, M., Tournaire, N., Roche, F., Laurent, R., Lacour, J. R., Barthélémy, J. C., y Pichot, V. (2004). Individual Interdependence between nocturnal ANS activity and performance in swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(12), 2112–2118.
- Goldberger, J. J., Ahmed, M. W., Parker, M. A., y Kadish, A. H. (1994). Dissociation of heart rate variability from parasympathetic tone. *The American Journal of Physiology*, 266, 2152–2157.
- González-Boto, R., Salguero, A., Tuero, C., Márquez, S., y Kellmann, M. (2008). Spanish adaptation and analysis by structural equation modeling of an instrument for monitoring overtraining: the recovery-stress questionnaire (Restq-Sport). *Social Behavior and Personality: An International Journal*, 36(5), 635–650.
- Halsen, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine*, 44, 139–147.
- Halsen, S. L., y Jeukendrup, A. E. (2004). Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 34(14), 967–981.

- Hausswirth, C., Louis, J., Aubry, A., Bonnet, G., Duffield, R., y LE Meur, Y. (2014). Evidence of disturbed sleep and increased illness in overreached endurance athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(5), 1036–1045.
- Hautala, A. J., Kiviniemi, A. M., Mäkikallio, T. H., Kinnunen, H., Nissilä, S., Huikuri, H. V., y Tulppo, M. P. (2006). Individual differences in the responses to endurance and resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, 96(5), 535–542.
- Hautala, A., Tulppo, M. P., Mäkikallio, T. H., Laukkanen, R., Nissilä, S., y Huikuri, H. V. (2001). Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. *Clinical Physiology*, 21(2), 238–245.
- Hedelin, R., Wiklund, U., Bjerle, P., y Henriksson-Larsén, K. (2002). Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 1531–1533.
- Hopkins, W. G. (2004). How interpret changes in an athletic performance test. *Sportscience*, 8, 1–7.
- Hopkins, W. G. (2007). A Spreadsheet for Deriving a Confidence Interval, Mechanistic. *Sportscience*, 11, 16–20.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., y Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–12.
- Hynynen, E., Uusitalo, A., Kontinen, N., y Rusko, H. (2006). Heart Rate Variability during Night Sleep and after Awakening in Overtrained Athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(2), 313–317.
- Johnsen Lind, A., Helge Johnsen, B., Hill, L. K., Sollers Iii, J. J., y Thayer, J. F. (2011). A user-friendly application for the extraction of kubios hrv output to an optimal format for statistical analysis. *Biomedical Sciences Instrumentation*, 47, 35–40.

- Kellmann, M., y Kallus, K. W. (2001). Recovery-Stress Questionnaire for Athletes. User Manual. (Human Kine). Champaign.
- Kiviniemi, A. M. (2004). Saturation of high-frequency oscillations of R-R intervals in healthy subjects and patients after acute myocardial infarction during ambulatory conditions. *AJP: Heart and Circulatory Physiology*, 287(5), 1921–1927.
- Knechtle, B. (2013). Nutrition in ultra-endurance racing - aspects of energy balance, fluid balance and exercise-associated hyponatremia. *Medicina Sportiva*, 17, 200–210.
- McNair, D., Lorr, M. y Droppleman, L. (1971). Manual for the Profile of Mood States. San Diego CA: Educational and Industrial Testing Service.
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., ... Urhausen, A. (2013). Prevention, Diagnosis, and Treatment of the Overtraining Syndrome. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(1), 186–205. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318279a10a>
- Morales, J., Garcia, V., García-Massó, X., Salvá, P., Escobar, R., y Buscà, B. (2013). The use of heart rate variability in assessing precompetitive stress in high-standard judo athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 34(2), 144–151.
- Nederhof, E., Zwerver, J., Brink, M., Meeusen, R., y Lemmink, K. (2008). Different diagnostic tools in nonfunctional overreaching. *International Journal of Sports Medicine*, 29(7), 590–597.
- Nummela, A., Hynynen, E., Kaikkonen, P., y Rusko, H. (2010). Endurance performance and nocturnal HRV indices. *International Journal of Sports Medicine*, 31(3), 154–159.
- Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J. M., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P., ... Barthélémy, J. C. (2000). Relation between heart rate variability and training load in

middle-distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(10), 1729–1736.

Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., y Buchheit, M. (2012). Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training A case comparison. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3729–3741.

Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., y Buchheit, M. (2014). Heart-Rate Variability and Training-Intensity Distribution in Elite Rowers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 1026–1032.

Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., y Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(9), 773–781.

Sánchez, J. M., Romero, E. P., y Ortís, L. C. (2013). Variabilidad de la frecuencia cardíaca y perfiles psicofisiológicos en deportes de equipo de alto rendimiento. *Revista de Psicología Del Deporte*, 22(2), 345–352.

Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276–291.

Seiler, S., Haugen, O., y Kuffel, E. (2007). Autonomic recovery after exercise in trained athletes: Intensity and duration effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(8), 1366–1373.

Slivka, D. R., Hailes, W. S., Cuddy, J. S., y Ruby, B. C. (2010). Effects of 21 days of intensified training on markers of overtraining. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2604–2612.

Stelzer, I., Kröpfl, J. M., Fuchs, R., Pekovits, K., Mangge, H., Raggam, R. B., ... Mächler, P. (2015). Ultra-endurance exercise induces stress and inflammation and

- affects circulating hematopoietic progenitor cell function. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(5), 442–450.
- Tarvainen, M. P., Niskanen, J.-P., Lipponen, J. A., Ranta-Aho, P. O., y Karjalainen, P. A. (2014). Kubios HRV--heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113(1), 210–220.
- Task Force. (1996). Guidelines Heart rate variability. *European Heart Journal*, 17, 354–381.
- Wallace, L. K., Slattery, K. M., y Coutts, A. J. (2014). A comparison of methods for quantifying training load: relationships between modelled and actual training responses. *European Journal of Applied Physiology*, 114(1), 11–20.
- Weinstein, A. A., Deuster, P. A., y Kop, W. J. (2007). Heart Rate Variability as a Predictor of Negative Mood Symptoms Induced by Exercise Withdrawal. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(4), 735–741.
- Zaryski, C., y Smith, D. J. (2005). Training principles and issues for ultra-endurance athletes. *Sports Medicine Reports*, 4(3), 165–170.

Capítulo 5

Observación automatizada: la variabilidad de la frecuencia cardíaca y su relación con las variables psicológicas determinantes del rendimiento en nadadores jóvenes

5 Capítulo 5: Observación automatizada: la variabilidad de la frecuencia cardíaca y su relación con las variables psicológicas determinantes del rendimiento en nadadores jóvenes

5.1 Resumen:

La correcta interpretación de los marcadores de rendimiento desde una perspectiva psicofisiológica es importante para el desarrollo de los atletas en etapas formativas. Este trabajo contiene dos objetivos. El primero es analizar la relación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) con las variables psicológicas: calidad de sueño, autoestima y estados de ánimo en jóvenes nadadores de una escuela profesional. El segundo objetivo es estudiar la relación de la VFC y determinantes psicológicos con el rendimiento. Esta se compuso 9 nadadores (11.7 ± 1.4 años) basada en un método de muestreo a propósito, pertenecientes a una escuela profesional. Las mediciones fueron efectuadas una vez por semana durante tres semanas de entrenamiento. El análisis estadístico muestra como la dimensión de ansiedad correlacionó negativamente con el logaritmo natural de banda de alta frecuencia (Ln HF) y positivamente con el logaritmo natural de la banda de muy baja frecuencia (Ln VLF) de forma significativa. No se encontraron relaciones para las variables autoestima y calidad de sueño. El tiempo en la prueba de rendimiento fue asociado negativamente con indicadores de la actividad parasimpática. Estos resultados sugieren que la VFC podría ser una herramienta válida para la predicción del rendimiento y mejora de la interpretación de la ansiedad.

5.2 Introducción

En las ciencias de la actividad física y el deporte los dispositivos electrónicos para evaluar objetivamente la actividad física y el patrón de movimiento en la vida cotidiana son muy populares. La más reciente popularización de dispositivos electrónicos para evaluar ambulatoriamente otro tipo de variables psicológicas (e.g. estados de ánimo) abre nuevas perspectivas a la psicología del deporte (Schlicht, Ebner-Priemer, y Kanning, 2013). Ambos tipos de aproximaciones pueden ser conceptualizadas como formas de observación con diferente grado de relación entre el deportista, objeto de estudio, y la implicación requerida a dicho deportista por parte del procedimiento empleado para obtener los datos (Portell, Anguera, Hernández-Mendo, y Jonsson, 2015). Esta implicación sería mínima en el caso en que sólo tenga que ajustarse un dispositivo electrónico, y máxima cuando el objeto de estudio son aspectos a los que se accede a través de la autoobservación (e.g. fatiga o dolor). Usamos el concepto "observación automatizada" para referirnos al primer caso.

En contextos competitivos, este tipo de aproximaciones metodológicas es fundamental para el estudio de los condicionantes psicológicos que permiten el desarrollo de las habilidades específicas con el fin de optimizar el rendimiento (Buceta, 1998). Desde la perspectiva psicofisiológica, la frecuencia cardíaca (FC) es uno de los parámetros más utilizados con este fin y su comportamiento ha sido asociado a numerosas variables psicológicas (e.g. Draper, Jones, Fryer, Hodgson, y Blackwell, 2010; Fernandez-Fernandez et al., 2015). Sin embargo, el desarrollo tecnológico ha contribuido al creciente interés por la observación automatizada de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC).

La medida de la FC se refiere normalmente al número en un espacio de tiempo previamente determinado (e.g. un minuto). Sin embargo, el concepto de VFC hace

referencia a la variación en tiempo (milisegundos) entre latidos. La monitorización de este parámetro permite estudiar de forma no-invasiva la incidencia del sistema nervioso simpático (SNS) y parasimpático (SNP), los cuales integran el sistema nervioso autónomo (SNA). La acción predominante del SNP produce una disminución en la FC que provoca o mantiene el estado de reposo tras un estímulo estresante (e.g. actividad física, ansiedad, etc.). Por el contrario, el SNS es el encargado de aumentar la FC con el fin de preparar al organismo ante una situación de estrés físico y/o psicológico (Billman, 2011).

La mayoría de las investigaciones actuales se centran en analizar la respuesta de la VFC ante los estímulos del entrenamiento con el fin de optimizar la planificación deportiva. De esta forma, algunos investigadores han mostrado como la VFC podría ser una herramienta útil para maximizar los procesos adaptativos y prescribir ejercicio diario (Kiviniemi, Hautala, Kinnunen, y Tulppo, 2007; Pichot et al., 2000; Plews, Laursen, Kilding, y Buchheit, 2012, 2014). Por otro lado, varios autores han mostrado la modulación de esta variable según el volumen e intensidad de entrenamiento aplicado (Cottin et al., 2004; Kaikkonen, Hynynen, Mann, Rusko, y Nummela, 2010); así como su relación con el rendimiento (Nummela, Hynynen, Kaikkonen, y Rusko, 2010) o estados de sobre-entrenamiento (Hedelin, Wiklund, Bjerle, y Henriksson-Larsén, 2000) en deportes de resistencia. De estos hallazgos han surgido modelos de interpretación del comportamiento de la VFC para adaptar las cargas de entrenamiento a la respuesta individual del atleta (Buchheit, 2014).

Dado que la VFC depende de la modulación del SNA y este tiene implicaciones en los estados emocionales, algunos autores han profundizado en la evaluación de los aspectos psicológicos en el deporte como la ansiedad (Cervantes, Rodas, y Capdevila, 2009; Morales et al., 2013) o la calidad de sueño, la cual ha mostrado ser un predictor

del síndrome de fatiga crónica (Burton, 2010; Plews et al., 2012). En el caso de la ansiedad, los autores informan la VFC se muestra sensible a las alteraciones que se producen de este factor en situaciones precompetitivas. Aunque se deben tener en cuenta las diferencias individuales con el fin de mejorar la precisión de la medida (Hautala et al., 2006), la literatura destaca las posibilidades de la VFC como un análisis rápido y eficaz para la evaluación de estados de estrés en este tipo de contextos (Thompson, Swain, Branch, Spina, y Grieco, 2015).

Recientemente, otros estudios han considerado la implicación de la autoestima en el resultado competitivo y la importancia de su evaluación en el campo de la psicología del deporte (Molina, Chorot, Valiente, y Sandín, 2014). Rosenberg (1965) define la autoestima como una variable de la personalidad referida al grado de valoración de una persona sobre sí misma. Esta ha sido relacionada positivamente con el bienestar mental en los atletas. La consideración de esta variable durante las etapas de especialización deportiva es esencial para asegurar el correcto desarrollo psicológico del individuo. En esta línea, varios autores han indicado su relación negativa con estados emocionales como la ansiedad (Coudevylle, Gernigon, y Ginis, 2011). Aunque sí existen suficientes investigaciones que destacan su influencia en el rendimiento académico (Esteban-Cornejo, Tejero-Gonzalez, Sallis, y Veiga, 2014), no sucede lo mismo respecto al rendimiento en el ámbito deportivo.

Por otro lado, Sánchez et al. (2013) analizaron la relación entre los estados de ánimo y la VFC en deportistas de élite. Los autores destacaron las asociaciones que resultaron entre algunos parámetros frecuenciales y las dimensiones de fatiga y vigor correspondientes al perfil del estado de ánimo (Profile of Mood States, POMS), siendo esta variable ampliamente utilizada en el campo de la psicología deportiva como predictor del rendimiento (Beedie, Terry, y Lane, 2008). Así mismo, Weinstein et al.

(2007) identificaron las reducciones de los índices parasimpáticos como predictores de estados de ánimo negativos. Pese a estos hallazgos, la literatura científica no es consistente sobre la asociación entre los correlatos fisiológicos de la VFC y las variables psicológicas.

Además de la escasez de investigaciones que traten este aspecto desde una orientación psicofisiológica, la variedad en los métodos de evaluación de la VFC (Task Force, 1996) e inconsistencias metodológicas en los diseños dificultan el contraste de los resultados hasta ahora obtenidos (Buchheit, 2014). Por tanto, se requieren más estudios que evalúen de forma conjunta la VFC y los aspectos psicológicos relacionados con el rendimiento en diferentes tipos de población deportiva. Debido a estas consideraciones, este trabajo posee dos objetivos que pretenden analizar la utilidad del uso de la VFC en deportistas jóvenes. El primero es analizar la relación entre la VFC y las variables psicológicas determinantes del rendimiento, en este caso: la calidad de sueño, el estado de ánimo y la autoestima. El segundo es determinar la asociación de la VFC y las variables psicológicas con el rendimiento en etapas formativas. La evaluación de estos aspectos resulta fundamental para la inclusión de esta variable en los procesos de monitorización en el ámbito deportivo.

5.3 Método

Participantes

La muestra se compuso de 9 nadadores jóvenes (11.7 ± 1.4 años), siete nadadoras femeninas (11.5 ± 1.5 años) y dos nadadores masculinos (11.5 ± 2.1 años), pertenecientes a la escuela de natación Redeco, en la ciudad de Breslavia, Polonia. Para su selección, fue adoptado un método de muestreo a propósito, estableciendo como criterios de selección la edad y el método de entrenamiento con el fin de construir una

muestra homogénea. Estos asistieron de forma diaria a las sesiones de entrenamiento que comenzaban a las 7:00 am con una duración de 1 hora exceptuando los fines de semana. La mayoría participaba de forma habitual en los campeonatos regionales y autonómicos en sus respectivas categorías.

Instrumentos

Los siguientes instrumentos fueron utilizados para llevar a cabo el estudio:

Perfil del Estado de Ánimo (POMS) de McNair, Lorr y Droppleman (1971) adaptado al polaco (Dudek y Koniarek, 1987). Para este trabajo se utilizó la versión reducida de 6 ítems (alfa de Cronbach = .70) (Hernandez-Mendo, González, Morales-Sánchez, Guillén, y Reigal, 2013). La escala evalúa 6 factores de estado de ánimo: Ansiedad, Depresión, Confusión, Tensión, Vigor y Fatiga. El factor Vigor es el único cuya puntuación se considera positiva y, por tanto, se interpreta como un mejor estado de ánimo. La puntuación para cada dimensión se indica en una escala tipo Likert desde 0 (nada) hasta 4 (mucho). Para esta investigación se analizaron las puntuaciones directas de la escala. La puntuación total fue calculada para evaluar el resultado global. Con este fin, el resultado en el factor Vigor fue restado al conjunto de puntuaciones obtenidas de los factores negativos. Las puntuaciones negativas en este valor se consideraron como estados de ánimo óptimos; mientras que puntuaciones elevadas fueron relacionadas con estados de ánimo alterados.

Escala de calidad de sueño del cuestionario de Recuperación-Estrés (RESTQ-Sport) de (Kellmann y Kallus, 2001) con traducción al polaco. Los participantes deben indicar de forma retrospectiva en una escala Likert desde 0 hasta 6 el grado de acuerdo con los enunciados que muestran cada uno de los ítems, en total 4. De estos, la puntuación obtenida en uno de ellos se valora de forma negativa, restando al resultado global.

Escala de Autoestima de Rosenberg. Esta escala (alfa de Cronbach = .81) fue diseñada originalmente por Rosenberg (1965) para la evaluación de la autoestima en adolescentes y está compuesta por diez ítems centrados en la exploración de los sentimientos de respeto y aceptación del yo. La mitad de los ítems están enunciados de forma positiva, mientras que la otra mitad de forma negativa. Las valoraciones personales se indican en una escala de tipo Likert desde 1 (muy en desacuerdo) hasta 4 (muy de acuerdo). La puntuación total, por tanto, oscila entre 10 y 40. Para el estudio se utilizó la versión adaptada al polaco (Dzwnokowska, Lachowicz-Tabaczek, y Łaguna, 2008).

Monitor de frecuencia cardíaca Polar® RS800CX y sensor pectoral Wearlink® Wind en banda elástica (Polar® Electro Oy). Este modelo ha sido utilizado de forma habitual en otros estudios (Plews et al., 2012, 2014; Quintana, Guastella, Outhred, Hickie, y Kemp, 2012) para el registro de la VFC.

BreathPacer. Esta aplicación móvil fue usada para controlar el ritmo respiratorio durante los registros de los intervalos RR. Permite configurar el ritmo e incluso la duración de cada fase. Además, dispone de un temporizador.

Procedimiento

Este trabajo ha sido desarrollado respecto a los principios de la Declaración de Helsinki (WMA 2000, Bošnjak 2001, y Tyebkhan 2003) que describen los principios éticos fundamentales y el marco de la investigación en humanos. Para este fin, se redactó una carta de presentación destinada a informar sobre los objetivos y procedimientos del estudio a los tutores oficiales de cada uno de los participantes y al entrenador, quien estuvo presente en todas las fases de recogida de datos. Además, se organizó una charla informativa con los tutores interesados. El equipo investigador obtuvo el consentimiento

informado por parte de todos los miembros que participaron voluntariamente en la investigación. Además, fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Málaga (nº243, nº de registro CEUMA 18-2015-H).

Los datos fueron recogidos por los investigadores en colaboración con el entrenador del equipo de natación. Durante tres días previos al comienzo del estudio, el equipo investigador estuvo presente en cada uno de los entrenamientos realizados con el fin de familiarizarse con los nadadores. En el último entrenamiento de cada semana se realizó una simulación de competición. Este procedimiento fue repetido durante tres semanas. Una vez completada la fase de calentamiento previa a la prueba, cada participante contestaba al POMS, la escala de autoestima y calidad de sueño antes del registro de los intervalos RR. No se completaron hasta estar el grupo investigador seguro de que las instrucciones fueron entendidas y las respuestas se basaran en las emociones de los participantes en ese momento. Este proceso fue supervisado por un colaborador nativo.

A continuación, cada nadador accedía a la sala médica para realizar un registro de la VFC durante 5 minutos en reposo en posición supina mientras seguían un patrón de respiración pautado de 0.2 Hz mediante la aplicación móvil BreathPacer de acuerdo a las recomendaciones establecidas (Task Force, 1996). Por último, los nadadores realizaron una toma de tiempo de 200m estilo libre en una piscina de 25m con salida desde la pared. Al final de la prueba, el entrenador registraba el tiempo empleado mediante un cronómetro manual.

Procesamiento de los datos y análisis estadístico

Para la corrección de los errores y posterior análisis de los intervalos RR se utilizó el software Kubios® HRV (V.2.2. OS-X, Universidad de Kuopio, Finlandia). La

aplicación permite el cálculo de los parámetros de dominio temporal, frecuencial y no-lineales. Para el análisis, tanto el primer como el último minuto de cada registro fueron excluidos (Task Force, 1996). Los rangos de frecuencia por defecto, altas frecuencias (HF: .15-.40 Hz), bajas frecuencias (LF: .04- .15 Hz) y muy bajas frecuencias (VLF: 0.00-0.04 Hz) se ajustan en el programa a lo indicado por la literatura (Task Force, 1996). Además, varios autores recientemente han validado su uso para el análisis de la VFC en el ámbito científico (Johnsen-Lind, Helge-Johnsen, Hill, Sollers, y Thayer, 2011; Tarvainen, Niskanen, Lipponen, Ranta-Aho, y Karjalainen, 2014).

El dispositivo Polar® RS800CX fue configurado para analizar con una frecuencia de muestreo de 1000Hz. Para el análisis se excluyeron tanto el primer minuto como el último de cada registro (Task Force, 1996). Al menos 256 intervalos RR sucesivos fueron utilizados para el análisis por participante y sesión. Por tanto, en este estudio fueron procesados en total 6.912 datos. Los datos asociados a la VFC fueron transformadas al logaritmo natural (Ln) con el fin de disminuir el sesgo. Para analizar la relación entre variables fisiológicas y psicológicas se utilizó el programa estadístico SPSS v.21 OS-X. La prueba de correlación de Pearson fue utilizada para el estudio de las asociaciones entre la VFC y las variables psicológicas (autoestima, calidad de sueño y perfil de estado de ánimo). Del mismo modo, se analizaron las relaciones entre la actividad parasimpática y las variables psicológicas con el rendimiento (marca en la prueba de 200m).

5.4 Resultados

La Tabla 5 muestra los datos del análisis para ambos géneros. El análisis muestra la correlación inversa entre indicadores de la actividad parasimpática (Ln HF) y factores del POMS considerados como negativos: ansiedad ($p < .01$) y confusión ($p < .05$).

Tabla 5. Correlaciones de Pearson entre los parámetros de VFC y los factores del perfil de estado de ánimo.

		Calidad de sueño	Autoestima	Ansiedad	Depresión	Confusión	Tensión	Vigor	Fatiga	Puntuación Total POMS
Dominio temporal	Ln rMSSD	.42	.68	-.06	-.20	-.06	.24	-.03	.18	.05
	Ln pNN50	.40	.76	-.03	-.14	-.07	.15	.14	-.07	-.07
No- lineales	Ln SD1	.42	.68	-.06	-.20	-.06	.24	-.03	.18	.05
	Ln HF	.88	.13	-.55**	-.41	-.53**	.12	.04	-.04	-.42*
Dominio frecuencial	Ln VLF	.72	.15	.49*	.42	.39	-.08	-.45*	-.14	.37

** $p < 0.01$; * $p < 0.05$ (niveles de correlación significativa) Ln rMSSD: logaritmo natural de la raíz cuadrada de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR; Ln SD1: logaritmo natural de la desviación estándar de los intervalos ortogonales de los puntos RR_i , RR_{i+1} al diámetro transversal de la elipse; Ln pNN50: logaritmo natural del porcentaje de intervalos RR consecutivos que discrepan más de 50ms entre sí; Ln HF: logaritmo natural de la proporción de alta frecuencia (.15-.40Hz); Ln VLF: logaritmo natural de la proporción de muy baja frecuencia (.003-.04Hz).

Además, este indicador de la VFC correlacionó de forma negativa con la puntuación total del perfil de estado de ánimo. Por otro lado, el índice Ln VLF, asociado con la actividad simpática del SNA, se relacionó de forma positiva con el factor ansiedad y correlacionó negativamente con el factor vigor ($p < .05$). Sin embargo, el análisis estadístico no arrojó resultados significativos entre la VFC y la autoestima o la calidad de sueño.

La Tabla 6 revela la asociación de la actividad parasimpática con el rendimiento deportivo. En este caso, la prueba estadística muestra como los parámetros de dominio temporal (Ln rMSSD y Ln pNN50) correlacionaron negativamente con el tiempo empleado en la prueba. Se observa la misma relación con el parámetro no-lineal Ln SD1. No se hallaron correlaciones significativas entre las variables psicológicas y el tiempo empleado en la prueba de 200m estilo libre.

Tabla 6. Correlaciones de Pearson entre la marca en la prueba de 200m libres

	Dominio temporal		No-lineales	Dominio ~~frecuencial~~
	Ln rMSSD	Ln pNN50	Ln SD1	Ln HF
Rendimiento	-.45*	-.46*	-.44*	.28

* $p < 0.05$ (niveles de correlación significativa) Ln rMSSD: logaritmo natural de la raíz cuadrada de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR; Ln SD1: logaritmo natural de la desviación estándar de los intervalos ortogonales de los puntos ~~RRi~~, ~~RRi+~~ al diámetro transversal de la elipse; Ln pNN50: logaritmo natural del porcentaje de intervalos RR consecutivos que discrepan más de 50ms entre sí; Ln HF: logaritmo natural de la proporción de alta frecuencia (.15-.40Hz).

5.5 Discusión

El objetivo de esta investigación fue determinar la utilidad de la VFC para controlar el entrenamiento deportivo en etapas formativas, mostrando una aplicación en psicología del deporte de lo que hemos denominado observación automatizada. Para ello, se ha analizado su relación con el tiempo empleado en una prueba de 200m estilo libre y las variables psicológicas determinantes del rendimiento. Los datos de este trabajo sugieren que la evaluación de índices relacionados con la actividad parasimpática podría utilizarse para predecir el rendimiento. Además, los resultados revelan que los parámetros de dominio frecuencial podrían ser más adecuados para valorar factores negativos en el perfil de estado de ánimo.

Estos hallazgos se sitúan en la línea marcada por otros autores que examinan este fenómeno en el contexto deportivo (Weinstein, Deuster, y Kop, 2007). No se hallaron correlaciones significativas con el factor Fatiga. Este hecho contrasta con los resultados obtenidos por otros estudios que si obtuvieron correlaciones negativas entre este elemento e indicadores de la actividad parasimpática (Moreno, Parrado y Capdevila, 2013). No obstante, sí concuerdan los resultados respecto al factor Vigor, que ha mostrado una asociación negativa con la actividad del SNS.

También coinciden la relación inversa entre la ansiedad y los parámetros de altas frecuencias (Ln HF) asociados con la actividad vagal, y su relación positiva con los parámetros de muy bajas frecuencias (Ln VLF) que reflejan la actividad simpática del SNA (Cervantes et al., 2009). Aunque los datos reflejan que la VFC podría facilitar la detección de estados de ánimos alterados, estos pueden ser generados por diferentes causas que podrían no estar relacionadas con el entrenamiento deportivo. Por tanto, la evaluación posterior del individuo por parte del equipo técnico es fundamental para su correcta interpretación.

Respecto a la autoestima, este trabajo es de los primeros en incluirla en relación a la VFC dada la importancia que la literatura muestra sobre su consideración en deportistas jóvenes (Bresciani et al., 2010; Esteban-Cornejo et al., 2014); así como sus efectos sobre el rendimiento (Molina et al., 2014) o su relación con la ansiedad u otros factores de origen psicológico (Coudevylle et al., 2011). En este estudio no se hallaron asociaciones de tipo psicofisiológico de la variable con cualquiera relacionada a la VFC o el rendimiento. Tampoco se obtuvieron resultados significativos respecto a la calidad de sueño. Debido a estos hechos, el uso combinado de la VFC para la detección de alteraciones en ambos valores no se muestra como una herramienta adecuada. En ambos

casos, el uso de cuestionarios psicométricos es esencial para mantener la atención sobre la modulación de la autoestima en estas edades.

Por otro lado, se ha observado como los parámetros de la actividad parasimpática (Ln rMSSD, Ln pNN50 y Ln SD1) correlacionan de forma negativa con la marca en la prueba de rendimiento. Es preciso indicar que mejores valores de marca (menor tiempo) coincidirían con mayores valores de actividad vagal. Del mismo modo, varios estudios han aportado resultados similares en disciplinas de resistencia (Buchheit et al., 2010; Garet et al., 2004a). Nummela et al. (2010) observaron cómo los cambios en la velocidad máxima alcanzada en una prueba de esfuerzo tras un período de entrenamiento en población sedentaria concuerdan con aquellos registrados respecto a los parámetros del SNP. En esta línea, nuestro estudio sugiere que la monitorización de las variables relacionadas con la actividad vagal podría ser útil para predecir del rendimiento en fases de formación deportiva. Asimismo, el estudio ilustra la potencialidad de complementar evaluaciones convencionales de variables psicológicas con técnicas de observación automatizada.

Las futuras investigaciones deberían continuar con el estudio del comportamiento de las variables psicológicas determinantes del rendimiento en relación a la VFC en deportistas jóvenes. El incremento de las herramientas efectivas de control en estas etapas es esencial para mejorar el desarrollo de los atletas hasta la especialización deportiva. La principal limitación de este estudio, el tamaño muestral, no ha permitido la aplicación de técnicas estadísticas que permitieran profundizar en las relaciones de causa-efecto. En esta línea, se requieren estudios longitudinales que permitan analizar la evolución de estas variables en las fases formativas e investigaciones con un mayor tamaño muestral con el fin de determinar posibles diferencias por género para optimizar la atención a las diferencias individuales del entrenamiento. En estos estudios sería

recomendable complementar las evaluaciones de variables fisiológicas basadas en observación automatizada, con indicadores de constructos psicológicos muestreados siguiendo los criterios de las técnicas para el estudio de la vida cotidiana (Portell, Anguera, Hernández-Mendo, y Jonsson, 2015; Schlicht, Ebner-Priemer, y Kanning, 2013).

En conclusión, esta investigación ha mostrado las relaciones entre los índices de la VFC y los factores del perfil de estado de ánimo; así como el rendimiento. Acorde con los antecedentes, el control de estos parámetros en reposo durante 5 minutos podría ser el método no-invasivo más adecuado para su integración en el día a día para los deportistas con resultados científicos notables (Buchheit, 2014; Plews et al., 2012; Plews, Laursen, Kilding, y Buchheit, 2013; Moreno et al., 2013). La incorporación de los índices que muestran la regulación del SNA sobre el sistema cardiovascular en la monitorización diaria del entrenamiento podría predecir el rendimiento y ayudar a mejorar la interpretación de los resultados de los cuestionarios psicométricos. A pesar de ello, algunos autores (Buchheit, 2014) sugieren que la utilización de este tipo de test seguiría siendo fundamental dada la complejidad y la gran variedad de factores que pueden influir en la VFC (Billman, 2011).

5.6 Referencias

- Beedie, C. J., Terry, P. C., y Lane, A. M. (2008). The profile of mood states and athletic performance: Two meta-analyses. *Journal of Applied Sport Psychology*, 12, 49-68.
- Billman, G. E. (2011). Heart rate variability - A historical perspective. *Frontiers in Physiology*, 2, 1-13. <http://doi.org/10.3389/fphys.2011.00086>
- Bresciani, G., Cuevas, M. J., Garatachea, N., Molinero, O., Almar, M., De Paz, J. A., ... González-Gallego, J. (2010). Monitoring biological and psychological measures

- throughout an entire season in male handball players. *European Journal of Sport Science*, 10(6), 377–384. <http://doi.org/10.1080/17461391003699070>
- Buceta, J. M. (1998). Psicología del entrenamiento deportivo.
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 17–19. <http://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>
- Buchheit, M., Chivot, A., Parouty, J., Mercier, D., Al Haddad, H., Laursen, P. B., y Ahmaidi, S. (2010). Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function. *European Journal of Applied Physiology*, 108(6), 1153–1167. <http://doi.org/10.1007/s00421-009-1317-x>
- Burton, A., Rahman, K., Kadota, Y., Lloyd, A., y Vollmer-Conna, U. (2010). Reduced heart rate variability predicts poor sleep quality in case-control study of chronic fatigue syndrome. *Experimental Brain Research*, 204, 71-78.
- César, J., Blásquez, C., Rodas, G., y Ortís, L. C. (2009). Perfil psicofisiológico de rendimiento en nadadores basado en la variabilidad de la frecuencia cardíaca y en estados de ansiedad precompetitiva. *Revista de Psicología Del Deporte*, 18, 37–52.
- Cottin, F., Médigue, C., Leprêtre, P. M., Papelier, Y., Koralsztejn, J. P., y Billat, V. (2004). Heart Rate Variability during Exercise Performed below and above Ventilatory Threshold. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 594–600. <http://doi.org/10.1249/01.MSS.0000121982.14718.2A>
- Coudevylle, G. R., Gernigon, C., y Martin Ginis, K. A. (2011). Self-esteem, self-confidence, anxiety and claimed self-handicapping: A mediational analysis. *Psychology of Sport and Exercise*, 12(6), 670–675. <http://doi.org/10.1016/j.psychsport.2011.05.008>

- Draper, N., Jones, G. A., Fryer, S., Hodgson, C. I., y Blackwell, G. (2010). Physiological and psychological responses to lead and top rope climbing for intermediate rock climbers. *European Journal of Sport Science*, 10, 13–20.
- Dudek B., K. J. (1987). Adaptacja Testu D.M. McNaira, M. Lorra I L.F. Dropplemana – Profile of Mood States (POMS). *Przegląd Psychologiczny*, 3, 753–762.
- Dzwnokowska, I., Lachowicz-Tabaczek, K., y Łaguna, M. (2008). Samoocena i jej pomiar. Warszawa: PTP.
- Esteban-Cornejo, I., Tejero-Gonzalez, C. M., Sallis, J. F., y Veiga, O. L. (2014). Physical activity and cognition in adolescents: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 18(5), 534–9. <http://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.07.007>
- Fernandez-Fernandez, J., Boullosa, D. A., Sanz-Rivas, D., Abreu, L., Filaire, E., y Mendez-Villanueva, A. (2015). Psychophysiological stress responses during training and competition in young female competitive tennis players. *International Journal of Sports Medicine*, 36(1), 22–8. <http://doi.org/10.1055/s-0034-1384544>
- Garet, M., Tournaire, N., Roche, F., Laurent, R., Lacour, J. R., Barthélémy, J. C., y Pichot, V. (2004). Individual Interdependence between nocturnal ANS activity and performance in swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(12), 2112–2118.
- Hautala, A. J., Kiviniemi, A. M., Mäkikallio, T. H., Kinnunen, H., Nissilä, S., Huikuri, H. V., y Tulppo, M. P. (2006). Individual differences in the responses to endurance and resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, 96(5), 535–542. <http://doi.org/10.1007/s00421-005-0116-2>

- Hedelin, R., Wiklund, U., Bjerle, P., y Henriksson-Larsén, K. Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 1531–1533 (2000).
- Hernandez Mendo A, González SL, Morales Sánchez V, Guillén F, y Reigal R. Evidencias de validez del POMS-6. Huelva: XIV Congreso Andaluz y I Congreso Internacional Luso-Andaluz de Psicología del Deporte y de la Actividad Física; 2013.
- Johnsen Lind, A., Helge Johnsen, B., Hill, L. K., Sollers Iii, J. J., y Thayer, J. F. (2011). A user-friendly application for the extraction of Kubios hrv output to an optimal format for statistical analysis. *Biomedical Sciences Instrumentation*, 47, 35–40.
- Kaikkonen, P., Hynynen, E., Mann, T., Rusko, H., y Nummela, A. (2010). Can HRV be used to evaluate training load in constant load exercises? *European Journal of Applied Physiology*, 108(3), 435–442. <http://doi.org/10.1007/s00421-009-1240-1>
- Kellmann, M., y Kallus, K. W. (2001). Recovery-Stress Questionnaire for Athletes. User Manual. (Human Kine). Champaign.
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., y Tulppo, M. P. (2007). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal of Applied Physiology*, 101(6), 743–751. <http://doi.org/10.1007/s00421-007-0552-2>
- Molina, J., Chorot, P., Valiente, R. M., y Sandín, B. (2014). Miedo a la evaluación negativa, autoestima y presión psicológica: efectos sobre el rendimiento deportivo en adolescentes. *Cuadernos de Psicología Del Deporte*, 14(3), 57–66.
- Morales, J., Garcia, V., García-Massó, X., Salvá, P., Escobar, R., y Buscà, B. (2013). The use of heart rate variability in assessing precompetitive stress in high-standard

- judo athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 34(2), 144–51.
<http://doi.org/10.1055/s-0032-1323719>
- Nummela, A., Hynynen, E., Kaikkonen, P., y Rusko, H. (2010). Endurance performance and nocturnal HRV indices. *International Journal of Sports Medicine*, 31(3), 154–159. <http://doi.org/10.1055/s-0029-1243221>
- Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J. M., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P., ... Barthélémy, J. C. (2000). Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(10), 1729–1736. <http://doi.org/10.1097/00005768-200010000-00011>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., y Buchheit, M. (2012). Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training A case comparison. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3729–3741. <http://doi.org/10.1007/s00421-012-2354-4>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., y Buchheit, M. (2013). Evaluating training adaptation with heart-rate measures: A methodological comparison. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(6), 688–691.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., y Buchheit, M. (2014). Heart-Rate Variability and Training-Intensity Distribution in Elite Rowers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 1026–1032. <http://doi.org/10.1123/ijspp.2013-0497>
- Portell, M., Anguera, M.T., Hernández-Mendo, A., y Jonson, G. (2015). Quantifying biopsychosocial aspects in everyday contexts: an integrative methodological approach from the behavioral sciences. *Psychology Research and Behavior Management*, 8, 153–160. doi:10.2147/PRBM.S82417

- Quintana, D. S., Guastella, A. J., Outhred, T., Hickie, I. B., y Kemp, A. H. (2012). Heart rate variability is associated with emotion recognition: Direct evidence for a relationship between the autonomic nervous system and social cognition. *International Journal of Psychophysiology*, 86(2), 168–172. <http://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.08.012>
- Quintana, D. S., Heathers, J. A. J., y Kemp, A. H. (2012). On the validity of using the Polar RS800 heart rate monitor for heart rate variability research. *European Journal of Applied Physiology*, 112(12), 4179–4180. <http://doi.org/10.1007/s00421-012-2453-2>
- Sánchez, J. M., Romero, E. P., y Ortís, L. C. (2013). Variabilidad de la frecuencia cardíaca y perfiles psicofisiológicos en deportes de equipo de alto rendimiento. *Revista de Psicología Del Deporte*, 22(2), 345–352.
- Schlicht, W., Ebner-Priemer, U.W., y Kanning, M. (2013). Ecological momentary assessment and intervention in physical activity and well-being: affective reactions, social-cognitive factors, and behaviors as determinants of physical activity and exercise. *Frontiers in Psychology*, 4, 916. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00916
- Tarvainen, M. P., Niskanen, J.-P., Lipponen, J. A., Ranta-Aho, P. O., y Karjalainen, P. A. (2014). Kubios HRV--heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113(1), 210–20. <http://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.07.024>
- Task Force. (1996). Guidelines Heart rate variability. *European Heart Journal*, 17, 354–381. <http://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
- Thompson, A. G., Swain, D. P., Branch, J. D., Spina, R. J., y Grieco, C. R. (2015). Autonomic Response to Tactical Pistol Performance Measured by Heart Rate

Variability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(4), 926–933.

<http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000615>

Wallén, M. B., Hasson, D., Theorell, T., Canlon, B., Osika, W., y Ward, S. a. (2012).

Possibilities and limitations of the polar RS800 in measuring heart rate variability at rest. *European Journal of Applied Physiology*, 112(3), 1153–1165.

<http://doi.org/10.1007/s00421-011-2079-9>

Weinberg, R. S. (2010). Fundamentos de psicología del deporte y del ejercicio físico.

Ed. Médica Panamericana.

Weinstein, A. A., Deuster, P. A., y Kop, W. J. (2007). Heart Rate Variability as a

Predictor of Negative Mood Symptoms Induced by Exercise Withdrawal. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(4), 735–741.

<http://doi.org/10.1249/mss.0b013e31802f590c>

Capítulo 6

Efectos del entrenamiento autógeno en la capacidad pulmonar, ansiedad competitiva y vitalidad subjetiva

6 Capítulo 6: Efectos del entrenamiento autógeno en la capacidad pulmonar, ansiedad competitiva y vitalidad subjetiva

6.1 Resumen

El objetivo de este estudio es analizar el efecto de la práctica regular del entrenamiento Autógeno (EA) sobre la capacidad pulmonar, la vitalidad subjetiva y la ansiedad competitiva. 18 atletas voluntarios de nivel popular fueron distribuidos al azar en dos grupos: control (n-9) y experimental (n-9), éstos practicaron, durante 6 semanas, E.A. Se efectuaron mediciones pre y post intervención espirométricas: pico de flujo respiratorio (PEF), el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1); de Vitalidad Subjetiva (escala EVS) y de Ansiedad Competitiva (escala CSAI-2). Se apreció una mejoría significativa ($p=0.001$) de la Vitalidad Subjetiva y en la Ansiedad Competitiva (dimensión autoconfianza). No se observaron variaciones en las restantes variables evaluadas. La práctica regular del E.A. podría resultar útil para mejorar algunos de los parámetros asociados al rendimiento deportivo.

6.2 Introducción

El entrenamiento autógeno (E.A.) es una técnica psicológica y fisiológica desarrollada por el neurólogo J. H. Schultz en 1932. Además de sus usos terapéuticos (Bruton, 2008; Knapen et al., 2003; Rossi, 1989; Stetter y Kupper, 2002), también ha sido avalada por numerosos estudios científicos en pedagogía, psicohigiene y deportes (Deckro et al., 2002; Hammermeister y Burton, 2001; Klein-Hebling y Lohaus, 2002; Omizo, 1980).

El E.A. consiste en producir una transformación general del sujeto por determinados ejercicios fisiológico-corracionales, que llevan a un estado de relajación similar a los estados sugestivos. Alcanzada la situación de relajación se experimentan sensaciones de tranquilidad, salud y bienestar “eudaimónico”, derivándose de ello los efectos beneficiosos sobre el control de las emociones y el estado de ánimo.

La idea principal en la que se basa esta técnica es la unión mente-cuerpo. Una idea representada con suficiente intensidad, bajo una situación de ensimismamiento por propia iniciativa (autohipnosis), determina un manifiesto cambio “involuntario” en la fisiología corporal (relajación muscular, relajación de la musculatura lisa vascular, modificación del ritmo cardíaco y respiratorio), pudiendo constituir, de alguna manera, un instrumento modulador sobre la salud general y sobre el rendimiento físico durante la práctica deportiva.

Durante el desarrollo de una competición son muchos los factores que intervienen en el rendimiento del deportista. La concentración y auto-regulación del esfuerzo como de las emociones, son habilidades esenciales para evaluar la situación y ofrecer la mejor respuesta del organismo.

Sobre el papel que juega la ansiedad en la práctica deportiva existe aún mucha discusión. Mientras algunos autores la señalan como una emoción básica desencadenada por la aparición de estímulos amenazantes, que se caracteriza por tendencias de evitación y claramente distinguible de las emociones relacionadas con el desafío (Lazarus, 1999), para otros es un estado secundario emocional complejo y variable que puede ser representado por tanto, como afrontamiento y tendencias de evitación (Izard, 1991; Plutchik, 1994). Puede aparecer de dos formas, como ansiedad estado o ansiedad rasgo. La primera se caracteriza por una hiperactivación del sistema nervioso conscientemente percibida por el individuo; la segunda predispone a percibir los estímulos como

amenazantes (Martens, Vealey, y Burton, 1990). En el caso de un deportista, un periodo de malos resultados, valoraciones negativas o la propia inexperiencia, puede provocar estados de ansiedad, generando desequilibrios psicofisiológicos que disminuyen el rendimiento. Estudios sobre la percepción de la ansiedad competitiva (Jones y Hanton, 2001) indican que existe relación entre el estado de ánimo y el grado de éxito deportivo. Los patrones de ansiedad caracterizados por la aparición de miedo, tristeza, culpa, timidez, hostilidad y desánimo, pueden subjetiva u objetivamente disminuir el rendimiento (Lane y Terry, 2000).

Por otro lado, una de las áreas que ha visto incrementada su importancia en el deporte es la psicología. Actualmente, se reconoce que los aspectos psicológicos son relevantes para determinar el rendimiento deportivo, considerando este como una combinación de preparación física y psíquica del cuerpo y mente respectivamente. La activación, entendida como una reacción general fisiológica y psicológica del organismo variable a lo largo de un continuo que va desde el sueño profundo hasta la excitación intensa (R. S. Weinberg y Gould, 2010), es un componente importante a la hora de controlar el comportamiento del atleta durante el entrenamiento o la competición. Por tanto, la regulación de las emociones durante los momentos críticos de la competición es una habilidad sustancial para obtener el máximo rendimiento deportivo (Lane, Terry, y Karageorghis, 1995).

El propósito de esta investigación es determinar el efecto del entrenamiento autógeno sobre los niveles de ansiedad competitiva, y su modulación sobre la capacidad pulmonar.

6.3 Material y métodos

Participantes

18 participantes, con edad comprendida entre los 28 y 50 años (edad media 33.83 años (DT=6.13), de los cuales 2 eran mujeres y 16 hombres, todos practicantes habituales de triatlón de distancia sprint a nivel popular; con una altura media en centímetros de 173.17 (DT=4,86) y el peso medio de 68.33 (DT=8.3).

Instrumentos

Cuestionario demográfico. La información demográfica de los participantes fue obtenida mediante un corto cuestionario donde indicaban: sexo, edad, años de experiencia, horas de entrenamiento semanal, nivel competitivo, condición de entrenamiento, talla y peso.

Ansiedad. El cuestionario CSAI-2 (Martens, Vealey, y Burton, 1990). La versión usada fue la original de 27 ítems, compuesta por tres dimensiones: Ansiedad Cognitiva (AC) y Ansiedad Somática (AS), que correlacionan directamente; y Autoconfianza (AU), que correlaciona negativamente con las anteriores. Cada dimensión está compuesta por nueve ítems, que se resuelven mediante escala de tipo Likert, compuesta por cuatro opciones: *nada, algo, bastante y mucho*. La puntuación máxima es de 36 puntos en cada una.

Aunque la validación psicométrica del CSAI-2 ha sido demostrada por varias investigaciones (Martens et al., 1990), otros autores argumentan que este instrumento podría confundir la motivación y excitación positiva con la ansiedad (Burton y Naylor, 1997; Cerin, 2003; Jones y Hanton, 2001; Jones, 1995; Lane, Sewell, Terry, Bartram, y Nesti, 1999).

Capacidad pulmonar. Para la medición de la función pulmonar se utilizó un medidor de flujo respiratorio (Peak Flow) electrónico, modelo PIKO-1. Además de medir el pico de flujo respiratorio (PEF), también mide el volumen espiratorio forzando en el primer

segundo (FEV₁). Como factor de calidad ofrece avisos e indicadores de tos para soplos anómalos. Este instrumento cumple con las recomendaciones de la American Thoracic Society (1994) en relación a la monitorización del PEF y el FEV₁.

El PEF depende del esfuerzo y el volumen pulmonar, por tanto, la cooperación del participante es esencial. El procedimiento de medición de los parámetros está sujeto a las normas de la ATS (Miller et al., 2005) y consideraciones técnicas procedentes de la SNEP (Sociedad Española de Neumología Pediátrica). El PEF debe ser alcanzado tan rápidamente como sea posible, utilizando el máximo volumen pulmonar, con el fin de obtener el mejor resultado. El individuo debe ser alentado a soplar tan vigorosamente como pueda. El cuello debe permanecer en posición neutral, ni flexionada o extendida, y no puede toser. No es necesario bloquear las fosas nasales. Una vez el participante alcance el punto de inflación pulmonar total, debe soplar sin demora durante dos segundos aproximadamente. Una vez expulsado todo el aire, puede flexionar el cuello para relajar los mecanismos respiratorios. Ajustar la herramienta, salivar o toser anula la toma. Se aconsejó a los participantes de no tomar ninguna bebida estimulante, evitar comidas abundantes, no realizar ejercicio vigoroso previo, no llevar ropa ajustada o accesorios como el cinturón y no utilizar broncodilatadores en las seis horas previas a la toma (Hernández, Gómez-Pastrana, Gómez, y Cruz, 2007). Se realizaron tres pruebas por individuo, tomando el mejor resultado.

Vitalidad subjetiva. Este concepto se considera un indicador de bienestar psicológico, junto con otras medidas (autoestima y satisfacción con la vida). Se trata de un estado en el que se posee un sentimiento de viveza y de posesión de energía personal (Ryan y Frederick, 1997). El parámetro fue medido con la versión castellana (Balaguer, Castillo, Álvarez, y Duda, 2005) de seis ítems de la *Escala de Vitalidad Subjetiva* (Ryan

y Frederick, 1997). Las respuestas se resuelven mediante una escala de tipo Likert, compuesta por siete opciones desde la 1 (*no es verdad*) hasta la 7 (*verdadero*).

Periodización

CSAI-2. El cuestionario fue administrado en cuatro competiciones de carácter oficial dentro del calendario de la federación andaluza de triatlón de 2013. Dichos eventos fueron pactados por el equipo investigador y los participantes. La toma de datos se dividió en dos periodos: el primero contó con 6 participantes y el segundo con 12.

Espirometría portátil. Este procedimiento se realizó en la primera toma de contacto con los participantes y al final del proceso de entrenamiento.

Vitalidad subjetiva. El cuestionario fue rellenado en la primera toma de contacto con los participantes y al finalizar el programa de 4 semanas de entrenamiento autógeno.

Procedimiento

Se redactó una carta de presentación que informó sobre la asignación aleatoria de los participantes en ambos grupos (experimental y control) y el compromiso de la práctica diaria de E.A. en casa durante el período de intervención, recibiendo el consentimiento informado firmado de cada uno de ellos; respetándose, además, los principios de la declaración de Helsinki (revisión de 1983).

Además, se mantuvo una reunión previa a las diferentes competiciones para explicarles los pasos, método y riesgos. Además, se confirmó ausencia de cualquier enfermedad o trastorno en cualquiera de los participantes, así como la ausencia en el caso de las mujeres de encontrarse en períodos de menstruación los días de competición.

La muestra fue instruida en la técnica de E.A. acorde al periodo de adquisición de la habilidad recomendado originalmente (2 semanas para cada ejercicio, (Schultz, 1959). Antes de realizar el ejercicio, se informó a los participantes del protocolo de preparación

para obtener la máxima eficacia de los mismos. Dicha preparación consiste en buscar una habitación tranquila, con luz escasa o ninguna, sin sonidos perturbadores, temperatura agradable, ropa cómoda, con o sin música propia para la relajación; buscar una postura cómoda; mantener los ojos cerrados; decirse a sí mismo “estoy completamente tranquilo” e ignorar los pensamientos ajenos a los del ejercicio correspondiente (Carranque-Chaves, 2004).

El primer ejercicio del método, el peso, consiste en decirse a sí mismo la siguiente frase, con la máxima concentración y visualizando interiormente la parte del cuerpo que vamos a trabajar: *“mi mano (o mi brazo) derecha (izquierda, si es zurdo) pesa mucho”*, seis veces. *“Estoy completamente tranquilo”*, una vez.

Una vez aprendido el ejercicio anterior, se añadieron como una secuencia los siguientes:

- 1) Calor: “mi mano (o mi brazo) derecha (izquierda, si es zurdo) está caliente”, seis veces.
- 2) Regulación del corazón: “el corazón late tranquilo y normal”, seis veces.
- 3) Regulación de la respiración: “la respiración es tranquila” o “algo respira en mí”, seis veces.
- 4) Regulación abdominal: “mi abdomen irradia calor”, seis veces.
- 5) Enfriamiento de la mente: “mi frente está agradablemente fresca” o “fresco agradable en la frente”, una vez.

Es importante que se permanezca sólo alrededor de tres minutos en este estado de concentración. No es preciso mantenerse durante más tiempo, pues podrían producirse molestias innecesarias y sensaciones desagradables. El objetivo del ejercicio es

proporcionar un estado mental de calma y relajación a los músculos voluntarios más conocidos mediante la visualización y concentración en las diferentes sensaciones. Una vez dominado todos los ejercicios, el tiempo de relajación podía ampliarse hasta llegar a los veinte o treinta minutos (Carranque-Chaves, 2004).

Para salir del estado de relajación, se indicó a los participantes que flexionaran y extendieran los brazos y piernas varias veces, realizaran varias respiraciones profundas y, por último, que abrieran los ojos.

Tras esto, el programa continuó durante cuatro semanas más. Se realizó una sesión presencial grupal con el investigador con el objetivo de comprobar la fidelidad de los participantes al programa a las dos semanas. Además, realizaron 15 minutos diarios del ejercicio distribuidos en sesiones de 3-5 minutos en tres momentos del día. Se informó a los individuos de las pautas recomendadas para la práctica de técnicas de relajación (Walsh, 2011). Para aumentar el control sobre la práctica diaria, los miembros del grupo experimental rellenaron una ficha de control personal, donde señalaron si realizaron o no la sesión, fecha, hora y sensaciones, mediante una puntuación y siguiendo estos criterios:

- 1) Indiferente
- 2) Me relajo algo
- 3) Me relajo y me siento más tranquilo al finalizarlo.
- 4) Empiezo a notar las sensaciones de peso y llego a una relajación profunda.
- 5) Siento que realizo bien la técnica y noto sus beneficios diarios. Me gusta realizarla.

Se dispusieron sistemas de comunicación diaria con todos los implicados. El grupo de control no recibió instrucción en E.A. ni realizó sesiones diarias en casa o semanales con el grupo experimental. Se mantuvo una reunión de control cada cuatro semanas para comprobar la fidelidad de los participantes al programa diseñado.

El cuestionario CSAI-2 fue resuelto por los atletas 45 minutos antes de comenzar la prueba. Se informó a los participantes sobre cómo rellenar el cuestionario en el lugar previamente establecido a la competición. No se completó hasta estar el grupo investigador seguro de que las instrucciones fueron completamente entendidas y las respuestas se basaran en las emociones de los participantes de ese momento.

Análisis estadístico

Los efectos del E.A. sobre las variables dependientes: pico de flujo espiratorio (PEF), volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1), ansiedad somática (AS), ansiedad cognitiva (AC), autoconfianza (AU) y vitalidad subjetiva (VS), fueron determinados mediante la prueba estadística no paramétrica *U* de Mann-Whitney. Se utilizó el programa estadístico SPSS v.19.

6.4 Resultados

En la tabla 7, se muestran los datos obtenidos en el cuestionario demográfico. En la tabla 8, se muestran los resultados del análisis estadístico. Se encontraron diferencias significativas entre el grupo experimental y el grupo control en la variable autoconfianza y vitalidad subjetiva.

La media de la variable vitalidad subjetiva mostró en el grupo experimental puntuaciones más altas: 5,72 que en el grupo control, 4,76 ($p=0,004$). Se observó un comportamiento similar en la variable autoconfianza. La media de las puntuaciones fue más alta en el grupo experimental: 20,67 que en el grupo control, 26,89 ($p=0,001$). No se hallaron diferencias estadísticamente significativas en otras variables.

Tabla 8. Frecuencias y porcentajes de las variables demográficas.

	GRUPO CONTROL				GRUPO E.A.				U
	Media	Varianza	Mediana	MR	Media	Varianza	Mediana	MR	
PEF	450,78	8525,44	420	9,44	450,44	2681,02	465	9,56	40
FEV1	3,82	,156	3,9	9,89	3,81	,049	3,7	9,11	37
AS	14,44	5,02	14	10,61	12,89	10,11	14	8,39	6,5
AC	13,67	15,25	13	10,5	12,22	3,69	12	8,5	30,5
AU	20,67	21	23	6	26,89	11,86	28	13	31,5**
VS	4,76	,2	5	5,72	5,72	,272	6	13,28	9**

Tabla 7. Resultados estadísticos de las variables objeto de estudio.

HES (Horas de entrenamiento semanal)

Valores	<6	6-10	10-15	>15	TOTAL
N	0	15	3	0	18
%	0	83,3	16,7	0	100

ConE (Condición de entrenamiento)

Valores	A veces solo/ a veces acompañado	Solo	Siempre en grupo	TOTAL
N	16	2	0	18
%	88,9	11,1	0	100

AE (Años de experiencia)

Valores	<1	1-3	>4	TOTAL
N	2	13	3	18
%	11,1	72,2	16,7	100

6.5 Discusión y conclusiones

Los resultados mostraron que la mayor parte de los participantes presentaron puntuaciones bajas de ansiedad cognitiva y somática para ambos grupos (control y experimental), y al contrario sucedió con los datos de la autoconfianza, siendo estos en su mayoría altos. Estos datos coinciden con los obtenidos en otro estudio (Sánchez, Gómez, Dueñas, y Bohórquez, 2012).

Respecto a la capacidad pulmonar, como variable analizada, los datos han demostrado que no existen diferencias entre las medias obtenidas para el grupo control y experimental. Este hecho se contrapone al resultado obtenido en otro estudio (Kumar, 2009) donde los datos sí mostraron diferencias significativas entre el grupo que practicaba el entrenamiento autógeno combinado con yoga y el grupo control, que sólo practicaba yoga. Debemos indicar que la diferencia de disciplinas en ambos casos es notable. Uno de los fundamentos principales del yoga es la respiración, regulando el estado mental, las emociones y los niveles de ansiedad. Este hecho nos permite hipotetizar sobre la idea de que el entrenamiento autógeno unido a la disciplina del yoga y la experiencia de sus practicantes, podría ser una herramienta lo suficientemente efectiva como para aumentar los niveles de la capacidad pulmonar en los parámetros estudiados; y esto justifique los resultados obtenidos en nuestro estudio.

En cuanto al efecto del E.A. sobre la ansiedad competitiva, los resultados muestran que este método no es efectivo para reducir los niveles de ansiedad, no encontrándose diferencias significativas entre las medias de las dimensiones ansiedad somática y cognitiva. Estos datos contrastan con los hallazgos en otro estudio (Navaneethan y Rajan, 2010) donde sí se encontraron diferencias significativas en el estado de ansiedad con el mismo instrumento de medición (CSAI-2). También difieren con los resultados

de otros estudios, donde la práctica regular de otras técnicas de relajación, ha demostrado estabilizar y mantener el estado ideal de activación (arousal) en situaciones competitivas (Weinberg y Comar, 1994), disminuyendo el riesgo de aparición de ansiedad somática provocada por una alta respuesta de estrés continuada en el organismo. Los resultados obtenidos con esta herramienta pueden ser debidos al nivel deportivo de la muestra, siendo en este caso, nivel popular. Esta puede ser una de las razones por las que no se han encontrado resultados significativos en ambos parámetros, pues únicamente tienen un compromiso personal de participación en las diferentes pruebas, no estando su objetivo personal orientado al resultado.

La autoconfianza es uno de los parámetros que, si ha mostrado sensibilidad a la intervención, obteniendo diferencias significativas entre ambos grupos. Por tanto, el entrenamiento autógeno modula aumentando los niveles de autoconfianza en la población analizada. Estos resultados podrían sugerir una implicación práctica en la preparación psicológica deportiva, y así, poder ayudar en la predisposición a la prueba y autorregulación de las emociones, ambos factores indicados como determinantes del rendimiento (Lane et al., 1995), además de contribuir a una mejora de la salud psicológica.

En relación con este último concepto, también obtuvimos diferencias significativas en la variable de vitalidad subjetiva. Este parámetro forma parte de las dimensiones del bienestar psicológico, donde también podemos encontrar la autoestima. No es de extrañar, por tanto, que al igual que se hallaron diferencias entre las medias en la variable autoconfianza, también se encontraran en la vitalidad subjetiva. La práctica regular de entrenamiento autógeno estaría asociada positivamente con el bienestar psicológico, produciendo mejoras en el estado de salud y aumentando la vitalidad personal.

La técnica de E.A. podría ser una herramienta útil, pues modula positivamente los niveles de autoconfianza y vitalidad subjetiva pre-competitivos. No obstante, se debe ser prudente con los resultados obtenidos en este estudio, pues los mecanismos que regulan el rendimiento deportivo son muy complejos y además de las variables psicológicas, debemos tener en cuenta los componentes fisiológicos.

Del mismo modo, somos conscientes de la limitación muestral, tratándose de deportistas populares, y afrontando la competición seguramente de forma diferente que un atleta de alto nivel, orientado a ganar u obtener una gran marca. Por tanto, sería interesante comprobar en investigaciones posteriores nuestros resultados cambiando la muestra por triatletas de élite que, por su condición, si están sometidos a niveles de estrés superiores; y aplicar un proceso de mayor duración y control de la aplicación del entrenamiento autógeno en presencia presencial del investigador.

6.6 Referencias

- Balaguer, I., Castillo, I., Álvarez, M. S., y Duda, J. L. (2005). Importance of social context in the prediction of self-determination and well-being in athletes of different level. En *Motivation in sport and physical activity*. Granada (Spain).
- Bruton, A. (2008). Breathing and relaxation training improves respiratory symptoms and quality of life in asthmatic adults. *Australian Journal of Physiotherapy*, 54(1), 76–76.
- Burton, D., y Naylor, S. (1997). Is anxiety really facilitative? Reaction to the myth that cognitive anxiety always impairs sport performance. *Journal of Applied Sport Psychology*, 9(2), 295–302.

- Carranque Chaves, G. Á. (2004). Entrenamiento autógeno de Schultz: instrucciones. Lecturas: EF y Deportes. *Revista digital*, 73.
- Cerin, E. (2003). Anxiety versus fundamental emotions as predictors of perceived functionality of pre-competitive emotional states, threat, and challenge in individual sports. *Journal of Applied Sport Psychology*, 15(3), 223–238.
- Deckro, G. R., Ballinger, K. M., Hoyt, M., Wilcher, M., Dusek, J., Myers, P., ... Benson, H. (2002). The Evaluation of a Mind/Body Intervention to Reduce Psychological Distress and Perceived Stress in College Students. *Journal of American College Health*, 50(6), 281.
- Hammermeister, J., y Burton, D. (2001). Stress, appraisal, and coping revisited: examining the antecedents of competitive state anxiety with endurance athletes. *Sport Psychologist*, 15(1), 66–90.
- Izard, C. E. (1991). The Psychology of Emotions. Springer.
- Jones. (1995). More than just a game: research developments and issues in competitive anxiety in sport. *British Journal of Psychology*, 86, 449–478. doi:10.1111/j.2044-8295.1995.tb02565.x
- Jones, G., y Hanton, S. (2001). Pre-competitive feeling states and directional anxiety interpretations. / Etat des emotions avant la competition et interpretations de l'anxiete directionnelle. *Journal of Sports Sciences*, 19(6), 385–395.
- Klein-Hebling, J., y Lohaus, A. (2002). Benefits and Interindividual Differences in Children's Responses to Extended and Intensified Relaxation Training. *Anxiety, Stress and Coping*, 15(3), 275.
- Knapen, J., Van De Vliet, P., Van Coppenolle, H., David, A., Peuskens, J., Knapen, K., y Pieters, G. (2003). The effectiveness of two psychomotor therapy programmes on

physical fitness and physical self-concept in nonpsychotic psychiatric patients: a randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 17(6), 637.

Kumar, C. S. (2009). Comparative Effect of Specific Yogic Exercises and Combination of Specific Yogic Exercises with Autogenic Training on Vital Capacity of the Middle Aged Men. *Journal of Physical Education and Sport*, 25(4), 45–47.

Lane, A. m., Sewell, D. f., Terry, P. c., Bartram, D., y Nesti, M. s. (1999). Confirmatory factor analysis of the Competitive State Anxiety Inventory-2. *Journal of Sports Sciences*, 17(6), 505–512.

Lane, A. m., y Terry, P. c. (2000). The nature of mood: development of a conceptual model with a focus on depression. / La nature de l'humeur: developpement d'un modele conceptuel axe sur la depression. *Journal of Applied Sport Psychology*, 12(1), 16–33.

Lane, A. M., Terry, P. C., y Karageorghis, C. I. (1995). Path analysis examining relationships among antecedents of anxiety, multidimensional state anxiety, and triathlon performance. *Perceptual y Motor Skills*, 81, 1255–1266.

Lazarus, R. S. (1999). Stress and Emotion: A New Synthesis (1st ed.). Springer Publishing Company.

Martens, R., Vealey, R. S., y Burton, D. (1990). Competitive Anxiety in Sport. Human Kinetics (1st Ed.)

Navaneethan, B., y Soundara Rajan, R. (2010). Effect of Progressive Muscle Relaxation Training on Competitive Anxiety of Male Inter-Collegiate Volleyball Players. *Journal of Physical Education and Sports Science*, 5, 44–57.

Oliva Hernández, C., Gómez Pastrana, D., Sirvent Gómez, J., y Asensio de la Cruz, O. (2007). Estudio de la función pulmonar en el paciente colaborador. Parte I. *An Pediatr (Barc)*, 66, 393–406.

- Omizo, M. M. (1980). The Effects of Biofeedback-Induced Relaxation Training in Hyperactive Adolescent Boys. *Journal of Psychology*, 105(1), 131.
- Plutchik, R. (1994). The Psychology and Biology of Emotion. Harper Collins College Publishers.
- Rossi, N. (1989). Autogenic Training in Mild Essential Hypertension: A Placebo-Controlled Study. *Stress Medicine*, 5(1), 63–68.
- Ryan, R. M., y Frederick, C. M. (1997). On energy, personality, and health: Subjective vitality as a dynamic reflection of wellbeing. *Journal of Personality*, 65, 529–565.
- Sánchez, J. C. J., Gómez, R. P., Dueñas, K. G. N., y Bohórquez, M. R. (2012). Ansiedad y autoconfianza precompetitiva en triatletas. *Revista iberoamericana de psicología del ejercicio y el deporte*, 7(1), 113–124.
- Schultz, J. H. (1959). El entrenamiento autógeno. Barcelona: Científico Médica.
- Solberg, E. e., Ingjer, F., Holen, A., Sundgot-Borgen, J., Nilsson, S., y Holme, I. (2000). Stress reactivity to and recovery from a standardised exercise bout: a study of 31 runners practising relaxation techniques. / Stress reactionnel et recuperation apres une epreuve d'effort standardisee: etude chez 31 coureurs pratiquant des techniques de relaxation. *British Journal of Sports Medicine*, 34(4), 268–272.
- Stetter, F., y Kupper, S. (2002). Autogenic Training: A Meta-Analysis of Clinical Outcome Studies. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 27(1), 45–98.
- Walsh, A. E. (2011). The Relaxation Response: A Strategy to Address Stress. *International Journal of Athletic Therapy and Training*, 16(2), 20–23.
- Weinberg, R., y Comar, W. (1994). The effectiveness of psychological interventions in competitive sport (L'efficacite des interventions psychologiques en sport de competition). *Sports Medicine*, 18(6), 406–418.

Weinberg, R. S., y Gould, D. (2010). Foundations of Sport and Exercise Psychology, Human Kinetics (5 Edition).

Capítulo 7

International Periodization Training Method (ITPM): la primera plataforma para la planificación científica del entrenamiento deportivo.

7 Capítulo 7: International Periodization Training Method (ITPM): la primera plataforma para la planificación científica del entrenamiento deportivo.

7.1 Introducción

Los capítulos anteriores que han sido desarrollados en esta tesis doctoral, han mostrado la relación de los factores psicológicos y fisiológicos con el rendimiento deportivo. De esta forma, se ha mostrado como indicadores fisiológicos como la VFC o psicológicos, como el estado de ánimo, podrían guiar el proceso de entrenamiento. En concordancia con el segundo objetivo general de esta tesis doctoral, este trabajo pretende facilitar el uso e interpretación de estas variables a través de la creación de una plataforma online. Esta herramienta permite, tanto a científicos como entrenadores, realizar una planificación deportiva, además de analizar y registrar de forma sistemática los datos relacionados con la evolución de las variables fisiológicas y psicométricas expuestas en los estudios anteriores. Del mismo modo, las bases de datos derivadas del uso de esta plataforma, generan un punto de partida para la continuación de esta línea de investigación, que tiene como fin estudiar los factores psicológicos e indicadores cardiovasculares asociados al rendimiento en deportes de resistencia.

7.2 Página principal

Esta posee (Figura 5) varios elementos:

1. Menú superior, que da acceso a los siguientes espacios:

- Producto: panel con el fin de presentar la aplicación con materiales audiovisuales.
- Foro: se trata de un espacio de debate para los usuarios, además de una forma de comunicación con los miembros del soporte técnico.
- Soporte técnico: da acceso a un formulario de contacto donde el usuario puede reportar cualquier incidencia técnica.
- Iniciar sesión: botón de acceso para insertar las credenciales, una vez realizado el registro.

2. Encabezado, que muestra las iniciales y nombre de la plataforma.

3. Botones centrales:

- “Soy un atleta”: da acceso al panel de registro para atletas.
- “Soy un entrenador”: da acceso al panel de registro para entrenadores.
- “La idea”: muestra una breve descripción de la plataforma y su objetivo.
- “El equipo”: ofrece información sobre los fundadores.

4. Carrusel, donde se alternan noticias o novedades.

5. Panel de patrocinadores, dónde son cargados los logotipos.

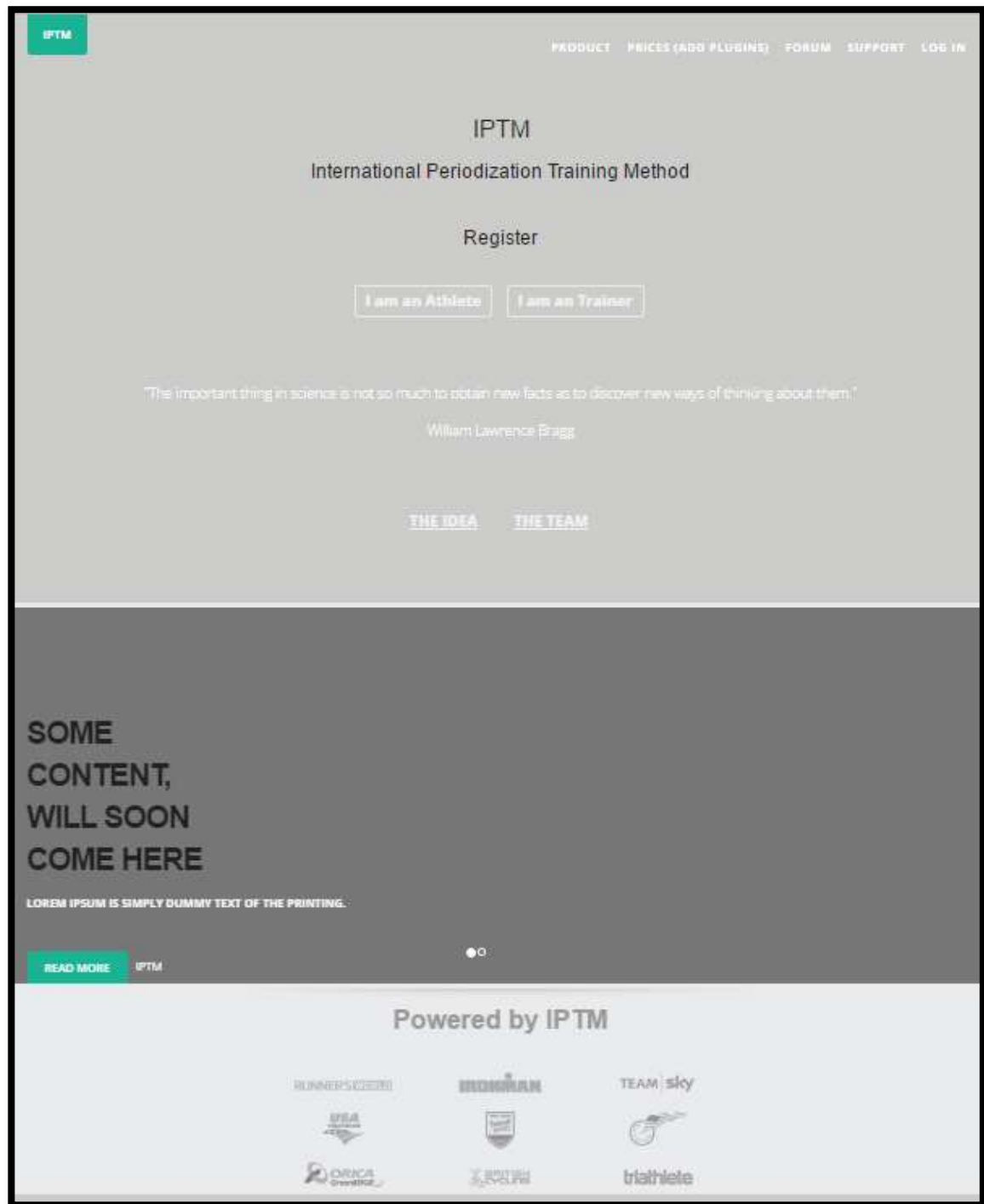


Figura 3. Pantalla de presentación de la aplicación.

7.3 Modo entrenador

Cuando el usuario pulsa el botón “Soy un entrenador”, este se redirige a un cuadro dónde debe completar: el nombre de usuario, contraseña, repetir la contraseña y un

email. Para continuar, debe pulsar el botón “Siguiente”, teniendo acceso de esta forma al “modo entrenador”.

Este apartado dispone de un submenú encabezado por la fotografía del entrenador. En él, aparecen las siguientes opciones:

1- Perfil de usuario:

Este espacio está dedicado a la introducción de los datos personales. Por otro lado, incluye una sección con información sobre la fecha de suscripción a la plataforma, próximos pagos, métodos de pagos asociados y plug-ins adheridos. En esta sección, el usuario puede cancelar su suscripción (dónde se mostrará la fecha de vencimiento una vez seleccionada esta opción) y del mismo modo, adquirir un nuevo plan.

2- Mis atletas:

En esta pantalla aparece en una ficha resumen todos los atletas activos hasta la fecha. Esta lista es presentada en una línea con la fotografía, nombre, email y número de contacto, además de dos botones: perfil y planificación. El primero da acceso al perfil del atleta, dónde es posible modificar o consultar los datos introducidos previamente (punto 7.3.1). El segundo, da acceso al panel de periodización, donde es posible desarrollar todas las tareas relacionadas con la planificación deportiva (punto 7.3.2). Del mismo modo, es posible eliminar el historial de un atleta no activo. Por último, el usuario puede filtrar por nombre, género o estado (activo y no activo).

3- Notificaciones:

Esta herramienta ha sido diseñada para la comunicación bidireccional de las actividades entre los usuarios (entrenador y atleta). Las notificaciones se muestran con un contador en la parte inferior de la fotografía en el caso al menos exista una. Para acceder al contenido, es necesario acceder al submenú y pulsar en “notificaciones”. Una

vez el usuario acceda, el contador vuelve a cero. En esta pantalla, las notificaciones aparecen en forma de lista, indicando: fecha, tipo y nombre de usuario. En ambos casos, al pulsar en la notificación, el usuario es redirigido a la pantalla correspondiente (i.e. si una sesión no ha sido completada después de tres días, cuando se hace click en la notificación, la aplicación redirige al usuario al cuadro de diálogo de dicha sesión).

Para el entrenador, las notificaciones se muestran cuando:

- El atleta no ha marcado una sesión como completada después de 3 días.
- El atleta no tiene ningún entrenamiento programado para la próxima semana.
- El atleta completa una competición.
- El atleta completa una sesión de tipo test (fisiológico o psicológico).
- La suscripción se encuentra a 1 semana de expirar.
- La suscripción se encuentra a 3 días expirar.
- Es el último día de suscripción.

Este registro de actividad se encuentra siempre disponible para consultas posteriores.

4- Ajustes:

Los ajustes que pueden llevarse a cabo son los siguientes:

- Idioma: inglés o español.

5- Cerrar sesión:

Cuando el usuario pulsa este botón, es redirigido a la página de inicio sin la sesión iniciada. En la parte central de esta pantalla, se muestran los siguientes dos botones: introducir un atleta y diseñar una planificación.

Introducir un atleta

En esta sección (Figura 6), el entrenador completará la información relativa al atleta mediante un proceso guiado que incluye los siguientes pasos:

a) Información personal

En esta pantalla se presenta un formulario con el fin de recoger datos como el nombre, género, email, teléfono de contacto, fecha de nacimiento, nacionalidad o el historial deportivo, indicando la prueba y el tiempo empleado para completarla.

Para avanzar al siguiente paso, el usuario debe hacer click en “Siguiente”.

b) Parámetros fisiológicos

A continuación, el entrenador introduce los datos de altura y peso, calculando automáticamente el índice masa corporal (IMC). Por otro lado, es posible introducir los datos obtenidos de una prueba de esfuerzo máxima, creando un gráfico de araña que visualmente muestra el perfil fisiológico de nuestro atleta. Esta funcionalidad permite relacionar si el perfil de nuestro atleta es adecuado al tipo de especialidad que quiere desarrollar, así como guiar el proceso de entrenamiento y su evolución.

Para avanzar al siguiente paso, el usuario debe hacer click en “Siguiente”.

c) Individualización del entrenamiento

En este formulario el entrenador introduce datos sobre la frecuencia de entrenamiento del atleta, años de experiencia, volúmenes iniciales, espacios o recursos de entrenamiento disponibles (gimnasio, pista de atletismo, monitor de frecuencia cardíaca, etc.), historial de lesiones o preferencias de horario.

Para finalizar el registro del atleta, el usuario debe hacer click en “Completado”.

The screenshot displays a web interface titled "Add an athlete". At the top, a progress bar shows five steps: "Personal Data" (highlighted with a yellow dot), "Physiological Parameters", "Individualise the training", "Complete!", and "Invite the athlete". Below the progress bar, the "Personal Data" section contains a gender selection area with "Male" and "Female" radio buttons. To the right of these are input fields for "Date of birth:" (format dd/mm/yyyy) and "Age:" (Age). Below the gender selection are input fields for "First name:", "Middle name:", "Last name:", "Address:", "City:", and "Country:". To the right of these are input fields for "Email:" and "Contact number:". Below the "Personal Data" section is the "Sports Records" section, which contains three rows of input fields for "Competition:" and "Time:". At the bottom right of the form is a green "Next" button.

Figura 4. Proceso guiado para añadir un atleta.

Diseñar una planificación

Una vez se introducen los datos del atleta, los entrenadores pueden acceder al panel de periodización, dividido nuevamente en un proceso guiado (Figura 7) con los siguientes pasos:

a) Intensidad de la competición.

En este primer panel, el entrenador tiene dos cajas de texto con el fin de introducir el deporte y la modalidad objetivo (e.g. triatlón olímpico). Del mismo modo, debe seleccionar la zona metabólica que corresponde a la disciplina deportiva (Umbral Aeróbico, Umbral Anaeróbico, etc.). Esto provoca que el entrenador realice una reflexión previa al comienzo de la planificación del entrenamiento con el fin de

identificar la principal zona metabólica que incide sobre el tipo de competición principal escogida por el individuo o el entrenador.

Para avanzar al siguiente paso, el usuario debe hacer click en “Siguiente”.

b) Factores determinantes y limitantes.

En esta segunda fase, el usuario debe escoger en una caja de búsqueda al atleta (introduciendo su nombre). Una vez seleccionado, aparecen dos columnas dónde se pueden seleccionar realizando un click en la caja de la opción correspondiente:

- Determinantes:

1. Eficiencia metabólica.
2. Volumen máximo de oxígeno (VO₂ máx.).
3. Umbral anaeróbico.
4. Umbral aeróbico.

- Limitantes:

1. Técnica.
2. Fuerza máxima.
3. Velocidad aeróbica máxima.
4. Volumen máximo de oxígeno (VO₂ máx.).

La selección de una u otras opciones dependerá del resultado de una prueba de esfuerzo que el atleta deberá realizar antes de comenzar la temporada con el fin de evaluar estos aspectos. Además, la evaluación de los puntos fisiológicos anteriores podrá realizarse mediante su introducción en el gráfico de araña en función de la disciplina del

deportista. Este segundo paso permite al usuario identificar los factores que deben ser potenciados y aquellos que sólo podrían precisar de tareas de mantenimiento.

Para avanzar al siguiente paso, el usuario debe hacer click en “Siguiente”.

c) Introducir competiciones.

El último paso para desarrollar el panel de periodización consiste en seleccionar en un calendario la fecha cuando el deportista inicia el entrenamiento. Además, en este punto deberá introducirse al menos la competición principal. Para ello, se ha dispuesto de una caja de texto para escribir el nombre, una lista para seleccionar la prioridad (A, B o C) y otra caja para introducir la fecha de la competición. Del mismo modo, es posible introducir más competiciones, aunque esta función puede ser repetida en el panel de periodización.

Para finalizar el registro del atleta, el usuario debe hacer click en “Completado”.

Starting the periodization

Intensity of competition Determining & Limiting Aspects Insert competitions Complete!

Which is the intensity zone for the main competition?

Sport: Speciality:

Please fill both boxes and select the main metabolic area that corresponds to the discipline indicated above

Figura 5. Proceso guiado para comenzar una planificación.

7.3.1.1 El panel de periodización.

Cuando son introducidos los datos en los puntos anteriores, automáticamente el usuario es redireccionado al panel principal. Esta pantalla muestra una tabla (Figura 8) compuesta por 53 columnas y un mínimo de 26 filas con diferentes funciones. El número de columnas representa las 52 semanas del año, abordando de esta forma la planificación de los contenidos y tareas de entrenamiento cada 7 días. La primera semana es la correspondiente a la fecha de inicio introducida en el panel “Introducir las competiciones”.

Esta tabla posee las siguientes secciones:

a) Número de la semana y fecha:

En la primera fila se indica el número de la semana correspondiente. Además, otra fila muestra la fecha en el formato dd/mm/aaaa correspondiente al primer día del inicio de cada semana de entrenamiento. En la tabla se muestran un total de 52 semanas.

b) Disciplina deportiva:

El usuario puede añadir y/o eliminar disciplinas de resistencia mediante un menú lateral con las siguientes opciones: carrera, natación, ciclismo y personalizado. El entrenador puede elegir adicionar o crear una disciplina deportiva, apareciendo una fila con el título de la misma subdividida en 8 zonas metabólicas del entrenamiento de acuerdo a la propuesta metodológica para el entrenamiento de la resistencia llevada a cabo por Pallarés y Morán-Navarro (2012). De esta forma, en cada una de las semanas el usuario tiene la posibilidad de marcar cual es la zona/s metabólica/s objetivo y de esta forma, representar la intensidad del entrenamiento a largo del ciclo.

c) La fuerza:

La literatura científica muestra como la introducción del entrenamiento de fuerza en periodizaciones en este tipo de disciplinas, a pesar de la reducción del volumen de

entrenamiento de resistencia, produce incrementos en el rendimiento superiores a una planificación basada exclusivamente en métodos de entrenamiento de la capacidad cardiorrespiratoria (Rønnestad y Mujika, 2014). Puesto que uno de los objetivos de esta plataforma es ser una herramienta que permita al entrenador desarrollar su tarea con rigor científico, esta capacidad se muestra por defecto. La sección está dividida en 4 filas, correspondiendo cada una a un tipo de manifestación de la fuerza (e.g. fuerza máxima). De esta forma, el usuario puede introducir en un cuadro el número de sesiones por semana que tienen por objetivo el desarrollo de una o varias de estas manifestaciones.

d) **Macro ciclos y mesociclos:**

Estas unidades de organización de los períodos de entrenamiento agrupan contenidos y métodos de entrenamiento en los que se desarrolla y adquiere la forma deportiva. El usuario puede seleccionar este tipo de estructura mediante un botón en el menú lateral. De esta forma se activa una barra lateral que puede aumentar o reducir su longitud en relación al número de semanas que se desean relacionar al tipo de macrociclo (e.g. preparatorio) o mesociclo (e.g. base). Una vez determinado, el usuario tiene que hacer click en el botón guardar. Para modificar o eliminar el macrociclo, el usuario sólo debe pulsar en este. Este método ha sido aplicado para ambos casos, destinando una fila a cada tipo de unidad.

- 170 -

Figura 6. Panel de periodización.

e) Tareas complementarias:

Durante la temporada, los entrenadores tienen la posibilidad de introducir otro tipo de tareas destinadas a la prevención de lesiones o refuerzo de las capacidades físicas. Este tipo de sesiones complementarias pueden ser añadidas en cada semana de entrenamiento con un máximo de dos tipos diferentes (e.g. flexibilidad y core). Para ello, el usuario tiene que seleccionar un cuadro dónde aparecerá una lista con las diferentes opciones. Una vez seleccionado el tipo de tarea, se muestran las siglas en el panel en la semana correspondiente.

f) El volumen de entrenamiento:

Esta variable puede introducirse utilizando dos parámetros cuantitativos: horas y distancia. En primer lugar, el usuario deberá introducir el volumen máximo semanal mediante un botón en el menú lateral, dónde una vez el entrenador acceda, aparecerá un cuadro con una caja destinada a introducir la cifra. Posteriormente, cada semana muestra un espacio para introducir el número que el entrenador considere (para ambos parámetros). Si el usuario sitúa el cursor en uno de estos recuadros, este puede visualizar el porcentaje del volumen planificado respecto al volumen máximo previamente introducido o el porcentaje de cambio respecto a la semana anterior. Esta última función resulta esencial para la planificación de la ondulación de la carga, siendo especialmente útil durante los periodos de puesta a punto (Mujika et al., 2002).

g) Métodos de entrenamiento:

En esta sección, el entrenador puede indicar hasta 3 métodos de entrenamiento de la resistencia por semana. Para ello, debe seleccionar uno de los cuadros que despliega una lista de métodos correspondientes a la propuesta metodológica de los autores Pallarés y Morán-Navarro (2012). Resulta fundamental que el entrenador proceda sistemáticamente estos pasos con el fin de periodizar el entrenamiento hasta llegar a la

unidad mínima, la sesión de entrenamiento, la cual es dependiente de las indicaciones anteriores.

h) Microciclos:

Estas estructuras más pequeñas de organización del entrenamiento se muestran con un período fijo de 7 días (la duración habitual). Dependiendo del período, estos pueden estar dirigidos a cumplir con diferente tipo de objetivos, como el desarrollo de las capacidades físicas generales o zonas metabólicas propias de la competición. El usuario puede seleccionar el tipo de microciclo pulsando en el recuadro, dónde aparecerá una lista con varias opciones (e.g. choque o recuperación).

i) Las competiciones:

En la última parte del panel, se sitúan las competiciones distinguidas por prioridad o relevancia en la temporada. La plataforma reconoce tres categorías:

- Categoría A: competición/es principal/es (color rojo).
- Categoría B: competición/es secundarias o de preparación (color verde)
- Categoría C: eventos destinados al entrenamiento de capacidades específicas (color naranja).

Estas pueden ser introducidas mediante un botón en el menú lateral a la izquierda del panel. En este cuadro denominado “Eventos”, puede seleccionarse la disciplina (e.g. ciclismo), fecha, prioridad e introducir notas adicionales, resultados, comentarios y el nombre de la competición. Una vez completada, en el propio cuadro es posible navegar por todos los eventos creados, con el fin de eliminar o posteriormente editar los datos.

Este panel permite al entrenador planificar con rigor los períodos de entrenamiento, además de ofrecerle una visión global de la temporada del deportista, facilitando las labores de supervisión o modificación de los elementos que componen la periodización deportiva.

7.3.1.2 Los tests de campo.

La prueba de esfuerzo es una herramienta fundamental que permite determinar el estado de forma actual del deportista. En las disciplinas de resistencia, es decir, aquellas donde predomina la cualidad aeróbica, destacan tres factores: el consumo máximo de oxígeno, la eficiencia económica y la capacidad de mantener un esfuerzo submáximo de forma prolongada. Estos, permiten la creación de un perfil fisiológico (apartado 7.3.1), siendo la plataforma capaz de evaluar mediante un valor del 0 al 10 cada uno de los parámetros para facilitar su interpretación, en función del género, la edad y los valores medios correspondientes a una población activa. El entrenador tiene acceso a esta opción mediante el menú lateral izquierdo en el panel de periodización. Esta nueva pantalla contiene un menú superior para navegar entre el historial presentado con gráficos los distintitos tipos de test de campos disponibles para las disciplinas de carrera, ciclismo, natación y fuerza.

En el caso de pruebas de esfuerzo incremental en cinta deslizante o cicloergómetro, el usuario puede programar la prueba en base a diferentes protocolos, introduciendo manualmente variables como velocidad, cadencia, potencia o inclinación en varios estadios. Cuando el atleta completa la prueba, puede acceder al test previamente programado e introducir los datos de frecuencia cardíaca, lactato o la puntuación en la escala de percepción subjetiva correspondiente a cada etapa. Además, puede introducir los valores de recuperación de la prueba tras 1, 3 y 5 minutos con el fin de analizar la curva de recuperación.

Respecto a la natación, podemos encontrar dos tipos de test en la versión beta:

- Test de velocidad crítica:

Este test tiene el objetivo de determinar la velocidad crítica (VCN), la cual ha demostrado ser un parámetro consistente para la medición de la capacidad aeróbica en natación (Wakayoshi, Ikuta, et al., 1992). Para llevarlo a cabo es preciso realizar dos distancias cronometradas, en el menor tiempo posible. Aunque existen varios protocolos (Wakayoshi, Ikuta, et al., 1992; Wakayoshi, Yoshida, et al., 1992), en la aplicación web se muestra la prueba basada en cubrir 200m y 400m por defecto (Figura 9). El entrenador o usuario tiene la posibilidad de introducir los tiempos parciales para cada una de las distancias y la frecuencia de brazada asociada, pudiendo observar gráficamente el punto de inflexión dónde esta última comienza a perder eficiencia. El valor de la velocidad crítica es calculado como:

$$VCN = (D2-D1) / (T2- T1)$$

Notas: D2 = Distancia de nado 400 metros; D1 = Distancia de nado 50 metros; T2 = Tiempo de los 400 metros (en segundos); T1 = Tiempo de los 50 metros (en segundos).

La aplicación web, una vez calculada la VCN, produce una tabla de ritmos (mm:ss) de entrenamiento en función de la distancia y la zona metabólica que puede ser consultada por el entrenador cada vez que quiera realizar una sesión de natación.

3 November, 2015
Swim CSS test

200 Meters

Params	50m	50m	50m	50m	Total
Time(s)	0	0	0	0	
Speed(m/s)					
10Strokes	0	0	0	0	

Strokes VsDistance

SEI

Trainer says...

Extra information

400 Meters

Params	100m	100m	100m	100m	Total
Time(s)	0	0	0	0	
Speed(m/s)					
10Strokes	0	0	0	0	

Strokes VsDistance

SEI

Athlete says...

Extra information

Save

Figura 7. Panel para introducir datos del test de velocidad crítica de dos distancias.

- Test de rampa de frecuencia de brazada:

Esa prueba tiene el objetivo de valorar la eficiencia técnica. Para llevarlo a cabo es preciso establecer series de 10 series de 50 metros estableciendo como referencia la frecuencia de brazada que incrementa serie a serie. Esta debe ser controlada con el uso de un metrónomo. El entrenador u otra persona en el exterior debe anotar el tiempo de cada intervalo, comentarios y la puntuación en la escala de percepción subjetiva que reporta el atleta. Cuando el atleta ha completado el test, el entrenador puede introducir los datos en la aplicación web que muestra una gráfica con el objetivo de identificar visualmente el punto (a veces puede ser más de uno) dónde el atleta recorre el intervalo en menor tiempo manteniendo la menor percepción de esfuerzo en relación a una frecuencia de brazada específica. Es este punto de inflexión dónde el atleta es más eficiente.

Para el desarrollo de la fuerza es fundamental conocer el valor asociado a la repetición máxima (1RM) en cada uno de los ejercicios que se pretenden realizar. Con

este fin, el entrenador puede introducir en este apartado los ejercicios que el atleta debe ejecutar. Una vez definidos, el deportista debe utilizar cargas submáximas que previsiblemente permitan hacer pocas repeticiones (menos de 10). Cada que vez que complete un ejercicio, debe anotar el número de repeticiones y la carga en kilogramos. Esta información será posteriormente introducida en la aplicación web. El cálculo de la 1RM se basa en la ecuación de Brzycki (Whisenant, Panton, East y Broeder, 2003), representado en un gráfico de columnas los resultados. Tanto el entrenador como el atleta pueden consultar la carga en kilogramos que corresponde a cada ejercicio en función al porcentaje.

En todos los casos, los tests son guardados con la fecha correspondiente. De esta forma, la aplicación web permite realizar un seguimiento de la evolución de estado de forma del atleta. Por otro lado, los protocolos pueden ser descargados en formato .pdf en caso quieran ser consultados antes de realizar el test.

7.3.1.3 El calendario.

Este es el elemento (Figura 10) más interactivo para el entrenador y el atleta. Por defecto, este aparece con una vista mensual. Cada semana es estructurada en una línea, dónde cada día corresponde a un recuadro o espacio en el que se muestran las sesiones planificadas. Los días están encabezados por el día de la semana y el número del mes. El nombre del mes se muestra en la parte superior junto al año. Es posible desplazarse hacia abajo con el ratón para navegar entre los meses o utilizar la herramienta de búsqueda para seleccionar un día concreto.

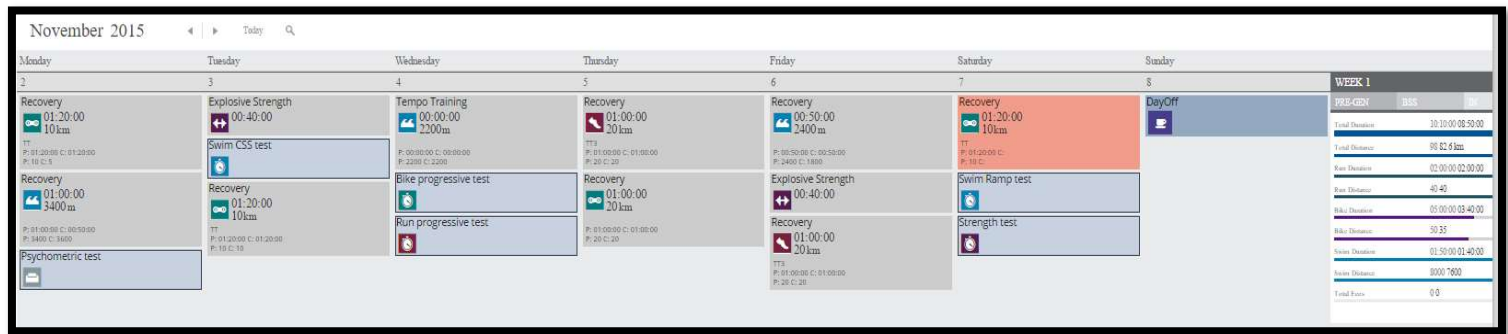


Figura 8. Muestra del calendario.

El calendario ha sido diseñado con las siguientes funciones:

a) Cambio de vista:

Como se ha mencionado anteriormente, la vista mensual aparece por defecto. El entrenador puede elegir por mesociclo o macrociclo, adaptando la visualización a los ciclos de entrenamiento.

b) El sumario semanal:

El resumen volumen (expresado en distancia y tiempo) total por semana se muestra en un panel situado a la derecha en forma de barra. Este elemento permite al entrenador rápidamente comparar entre lo planeado y lo realmente realizado, con el fin de orientar las tareas de entrenamiento posteriores y ajustar el panel de periodización.

c) Introducción de tareas:

Al situar el cursor en cualquier día del calendario, aparece un botón (Figura 11) para añadir uno o más de los siguientes tipos de elementos a través de un cuadro de diálogo:

- Sesiones de entrenamiento:

Existen varios tipos: carrera, ciclismo, natación, fuerza, día de descanso u otros.

- Sesiones de carrera, trail, ciclismo o MTB:

Una vez seleccionado, se abre un cuadro de diálogo dónde es posible navegar entre varios paneles:

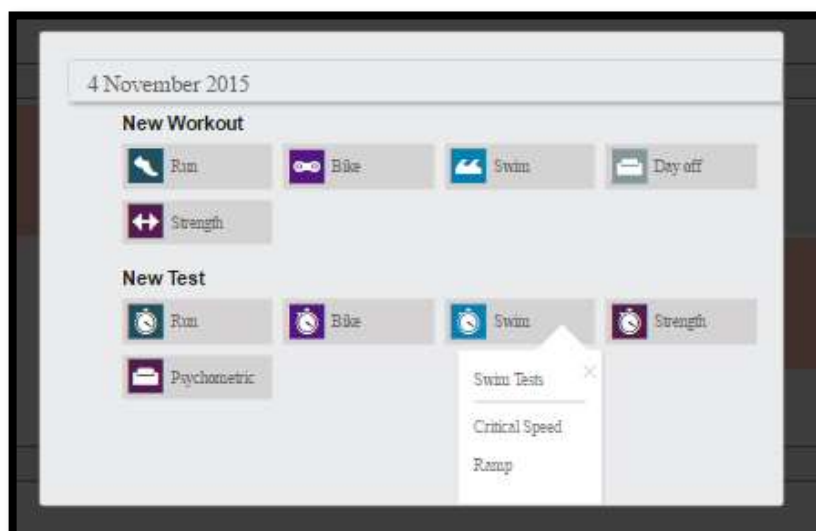


Figura 9. Menú de selección para la introducción de tareas en el calendario.

- Diseño de la sesión:

En esta pantalla (Figura 12) es posible seleccionar el tipo de sesión (velocidad, tiempo o recuperación) de una lista, definir un nombre, incluir información extra por parte del entrenador, indicar el desnivel objetivo, elegir el tipo de terreno y programar las etapas de la sesión.

Esta programación es posible gracias a dos botones: “añadir etapa” y “programar repeticiones”. Cuando el entrenador pulsar el botón “añadir etapa”, aparece una barra numerada dónde es posible describir el tipo (calentamiento, vuelta a la calma, recuperación, intervalo, etc.), el volumen (en tiempo o distancia) y el objetivo (zona de entrenamiento o ritmo). En el caso del ciclismo, pueden seleccionarse otras variables objetivo como la velocidad, cadencia de pedaleo o vatios.

De esta forma, un entrenamiento continuo estaría compuesto de tres etapas: calentamiento, carrera continua y vuelta a la calma. En el caso de un entrenamiento con intervalos, es necesario añadir las etapas que lo componen (e.g, una etapa de 4 minutos en R1 y una etapa de 1 minuto en R3+ (Pallarés y Morán Navarro, 2012) y pulsar el botón de “programar repeticiones” para indicar el número de veces que esa combinación debe ser repetida. El usuario puede eliminar las etapas o modificarlas.

13 November, 2015

Workout Specification

Workout type: Speed

Name: Fartlek training

Time: 01:00:00

Distance (km): Distance

Terrain type: Misc

Elevation (m): 100

Trainer says...
In the interval, keep maximum intensity you can keep for two minutes. We try to stay over threshold.

Workout breakdown

1	Warm up	Duration: 15:00 mins	R1	*	
2	Repeat	5 times from step 3 to step 4			
3	Run	Duration: 04:00 mins	R3	*	
4	Run	Duration: 02:00 mins	R5	*	
5	Cool down	Duration: 15:00 mins	R1	*	

Add step Add repetitions Save workout Delete workout

Figura 10. Pantalla de diseño de la sesión en carrera.

Finalizada la programación, el usuario puede guardar esta sesión en su librería y/o actualizarla en el calendario del atleta. El tiempo total o la distancia, son automáticamente calculados en función a las etapas.

- Sesiones de natación:

Una vez seleccionado, se abre un cuadro de diálogo dónde es posible navegar entre varios paneles:

- Diseño de la sesión:

En esta pantalla (Figura 13) es posible seleccionar el tipo de sesión (velocidad, tempo o recuperación). La diferencia con el sistema anterior reside en incluir otras variables con el fin de mejorar la experiencia de usuario cuando se trata de introducir sesiones tan complejas como las de natación.

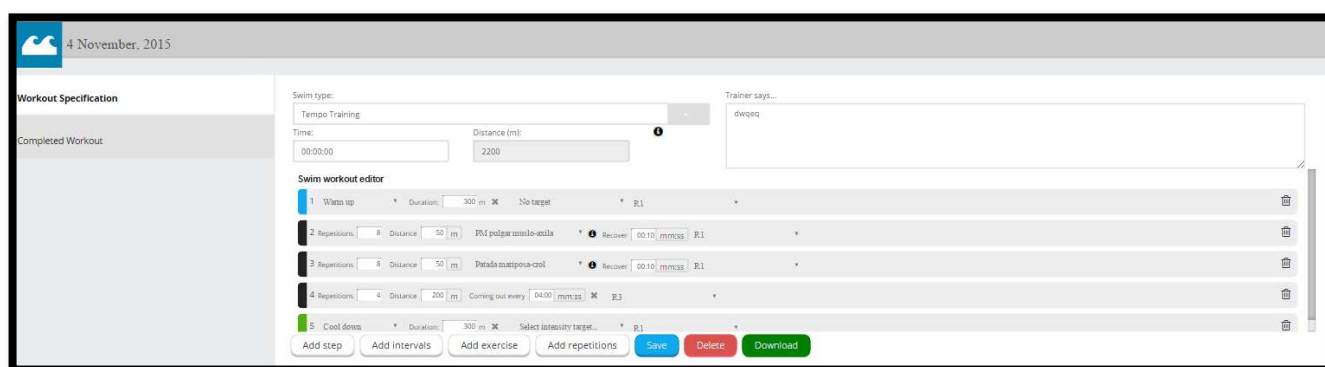


Figura 11. Pantalla de diseño de la sesión en natación.

Al igual que en el anterior caso, esta programación es posible gracias a dos botones: “añadir etapa” y “programar bloques”. Cuando el entrenador pulsar el botón “añadir etapa”, aparece una barra numerada dónde es posible describir el tipo (calentamiento, vuelta a la calma, técnica, series, etc.), el número de repeticiones, el volumen (en tiempo o distancia), la zona de entrenamiento objetivo, el ritmo en función a una distancia seleccionable (50 m, 100 m, etc.) y el objetivo (e.g. frecuencia de brazada). En el caso el entrenador seleccione una etapa técnica, podrá seleccionar un ejercicio previamente creado en su glosario, con una descripción. Este diseño permite que el entrenador ágilmente pueda crear las sesiones dado que le permite crear un glosario de ejercicios que puede utilizar de forma repetida.

Esta disciplina, dónde el entrenamiento es comúnmente fraccionado, podría estar compuesto de cuatro etapas: calentamiento, etapa técnica, bloque de series y vuelta a la calma. Para configurar un bloque de series, es necesario pulsar el botón de “programar bloques” para indicar el número de veces que una combinación debe ser repetida. El usuario puede eliminar las etapas o modificarlas.

Finalizada la programación, el usuario puede guardar esta sesión en su librería y/o actualizarla en el calendario del atleta. El tiempo total o la distancia (en metros), son automáticamente calculados en función a las etapas.

- Sesiones de fuerza:

Una vez seleccionado, se abre un cuadro de diálogo dónde es posible navegar entre varios paneles:

- Glosario de ejercicios:

Para la elaboración de sesiones de fuerza, la creación de un glosario de ejercicios es el primer paso. El usuario puede acceder a esta funcionalidad cuando pulsa la opción “Glosario” en el menú lateral, dentro de la sesión de fuerza. Es en este cuadro, dónde debe introducir el nombre, descripción y categoría. La categoría es indicada por un valor número del 1 al 5 y está relacionada al factor de intensidad del ejercicio. De esta forma, la categoría 5 se refiere a ejercicios de máxima potencia o alto impacto (e.g. saltos con caída de gran altura) y la categoría 1 se relaciona a ejercicios mono o bi-articulares en el mismo sitio a baja intensidad (e.g. ejercicios con el balón medicinal) (Esteve Lanao, 2011). Este factor es posteriormente utilizado para la cuantificación de la carga del entrenamiento de fuerza. Una vez indicadas las variables, el usuario puede guardar el ejercicio.

- Diseño de la sesión:

En esta pantalla (Figura 14) es posible seleccionar el tipo de sesión (fuerza-resistencia, fuerza máxima, pliometría, etc.) de una lista, definir un nombre, incluir información extra por parte del entrenador, realizar una lista de material y programar las etapas de la sesión.

Figura 12. Pantalla de diseño de la sesión de fuerza.

Esta programación es posible gracias a dos botones: “añadir etapa” y “programar bloques”. Cuando el entrenador pulsar el botón “añadir etapa”, aparece una barra numerada dónde el entrenador debe seleccionar uno de los ejercicios creados en el glosario, que una vez seleccionado, la aplicación muestra automáticamente su descripción. Además, deben añadirse el número de series, repeticiones y el porcentaje de la carga de trabajo respecto a 1RM. Para cada ejercicio, el entrenador debe añadir una etapa.

Finalizada la programación, el usuario puede guardar esta sesión en su librería y/o actualizarla en el calendario del atleta. El tiempo total o la distancia, son automáticamente calculados en función a las etapas.

- Descargar la sesión:

Todas las sesiones pueden descargarse en una versión .pdf. De esta forma, el entrenador o el atleta puede imprimir o consultar de forma práctica el programa de

ejercicios. Esta función es especialmente útil en natación, donde los entrenamientos engloban una combinación de mayor de repeticiones, distancias y ejercicios técnicos.

- Gráficos

Por otro lado, en cuadro de diálogo utilizado para introducir la sesión de entrenamiento, tanto el atleta como el entrenador pueden encontrar el apartado “Gráficos”, dónde se muestra en un gráfico de líneas la evolución de la frecuencia cardíaca, velocidad o desnivel durante el entrenamiento en función al tiempo transcurrido.

- Evaluaciones psicológicas:

El entrenador puede programar cuestionarios psicométricos para el atleta. En cualquier caso, el deportista accede a través de la plataforma, dónde lo rellena y una vez finalizado, pulsa el botón completado para el cálculo de las puntuaciones para cada una de sus dimensiones y la puntuación total, ambas mostradas en una tabla. De la misma forma, la evolución para cada variable psicométrica es mostrada en una gráfica combinada (lineal y de columnas) junto a la carga de entrenamiento en relación al tiempo.

En esta versión beta, sólo se ha incluido la versión reducida de 6 ítems de la escala POMS (alfa de Cronbach = .70) (Hernandez Mendo, González, Morales-Sánchez, Guillén, y Reigal, 2013).

7.3.1.4 La carga de entrenamiento.

La carga de entrenamiento es cuantificada automáticamente en base a dos sistemas: equivalente de carga de entrenamiento objetiva (ECOs) y equivalente de carga de entrenamiento subjetiva (ECSs) (Cejuela y Esteve-Lanao, 2011). Dada la imperfección de los sistemas de cuantificación del impacto del entrenamiento (Wallace, Slattery, y

Coutts, 2014), la combinación de ambos, el primero basado en parámetros fisiológicos, y el segundo, en la percepción subjetiva del esfuerzo (Foster et al., 2001), facilitan el control sobre la programación de la carga de entrenamiento y su impacto en el atleta. La principal ventaja de ambos es que pueden ser aplicados en cualquier disciplina, incluso en la fuerza (Esteve Lanao, 2011).

La introducción de tareas en el calendario provoca el cálculo de ambos tipos de unidades. De esta forma, el entrenador puede estimar el valor correspondiente a un microciclo, mesociclo o macrociclo. Sin embargo, cuando el atleta introduce los valores de los entrenamientos una vez completados, la carga de entrenamiento es actualizada automáticamente. El entrenador puede comparar la carga de trabajo estimada con la realizada, permitiendo modificar o ajustar los ciclos en el panel de periodización. Además, el usuario puede consultar la estructura de la carga con varias vistas de forma gráfica: microciclo (diaria) o mesociclo (semanal). Estos datos serán posteriormente utilizados para la determinación del impacto del entrenamiento en base al modelo impulso-respuesta (Banister, 1991). Del mismo modo, el usuario puede observar en un diagrama de sectores la distribución porcentual del tiempo dedicado a cada tipo de tarea de entrenamiento, estando disponible también en varios tipos de vistas.

El modelo de Impulso-Respuesta.

Varios trabajos (Banister, 1991; Calvert, Banister, Savage, y Bach, 1976; Wallace et al., 2014) han mostrado la utilidad de este modelo como predictor del rendimiento en las disciplinas de resistencia, el cual representa la relación cuantitativa entre el entrenamiento y la respuesta adaptativa del organismo. Esta relación está compuesta de dos tipos de manifestaciones: crónicas (son aquellas adaptaciones de largo plazo con un efecto positivo sobre el rendimiento) y agudas (variaciones de corto plazo que tienen un efecto negativo sobre el rendimiento). Estas adaptaciones, relacionadas directamente

con el rendimiento deportivo, se describen como el efecto combinado de las cargas de entrenamiento de esta forma matemática:

$$p_t = p_0 + k_a \sum_{s=0}^{t-1} e^{-(t-s)/\tau_a} w_s - k_f \sum_{s=0}^{t-1} e^{-(t-s)/\tau_f} w_s$$

Donde el primer término se refiere al rendimiento inicial, el segundo al efecto crónico (adaptación) y el tercero al efecto agudo (fatiga).

El entrenador puede acceder a la representación gráfica de este modelo en el menú lateral izquierdo en el panel de periodización, el cual es automáticamente calculado en base a los datos de la carga de entrenamiento introducidos en el calendario. De esta forma, tanto el atleta como el entrenador, poseen una herramienta útil para el control de las adaptaciones al entrenamiento y planificación de los períodos de puesta a punto para las competiciones principales del calendario deportivo.

La variabilidad de la frecuencia cardíaca

Aunque el registro de la actividad cardíaca se refiere normalmente al número de latidos en un espacio de tiempo determinado, debido a los avances tecnológicos, recientemente los investigadores han centrado su atención en la variación de tiempo (en milisegundos) entre latidos o variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) (Billman, 2011) como instrumento de control de las adaptaciones al entrenamiento. El uso de este parámetro permite evaluar de forma no-invasiva, rápida y eficaz (Task Force, 1996), el estado de equilibrio entre el sistema nervioso parasimpático (SNP) y el sistema nervioso simpático (SNS), que conforman el sistema nervioso autónomo (SNA). El estudio de la respuesta del SNA ante los estímulos del entrenamiento deportivo (Foulds et al., 2014; Hautala et al., 2001; Hedelin, Wiklund, Bjerle, y Henriksson-Larsén, 2000; Seiler, Haugen, y Kuffel, 2007) sugiere que la VFC podría utilizarse como herramienta de

control de los procesos adaptativos y prevención de la aparición de estados de sobrecarga no funcional (Buchheit, 2014).

Esta aplicación, basada en los estudios de Hopkins (2007) es capaz de generar un gráfico que expresa el cambio porcentual semanal de la VFC y la frecuencia cardíaca de reposo (Buchheit, 2014) respecto a una línea basal previamente establecida. De esta forma, el entrenador cuenta con una herramienta única para monitorizar el impacto de la carga del entrenamiento en el organismo y con ello, conseguir orientar las tareas para obtener el mayor rendimiento deportivo.

7.4 Modo atleta:

Página principal.

Cuando el usuario pulsa el botón “Soy un atleta”, este se redirige a un cuadro dónde debe completar: el nombre de usuario, contraseña, repetir la contraseña y un email. Para continuar, debe pulsar el botón “Siguiente”, teniendo acceso de esta forma al “modo atleta”. Automáticamente, el usuario es guiado a través de un proceso por etapas (punto 9.3.1) dónde debe introducir los siguientes datos:

- a) Información personal
- b) Parámetros fisiológicos
- c) Individualización del entrenamiento

Una vez completado, se mostrará la pantalla principal. En la parte superior derecha, se muestra un submenú encabezado por la fotografía del atleta con las siguientes opciones:

- 1- Perfil de usuario:

En esta sección el atleta puede editar sus datos personales, parámetros fisiológicos o relativos a la individualización del entrenamiento.

2- Notificaciones:

Esta herramienta ha sido diseñada para la comunicación bidireccional de las actividades entre los usuarios (entrenador y atleta). Las notificaciones se muestran con un contador en la parte inferior de la fotografía en el caso al menos exista una. Para acceder al contenido, es necesario acceder al submenú y pulsar en “notificaciones”. Una vez el usuario acceda, el contador vuelve a cero. En esta pantalla, las notificaciones aparecen en forma de lista, indicando: fecha, tipo y nombre de usuario. En ambos casos, al pulsar en la notificación, el usuario es redirigido a la pantalla correspondiente (i.e. si una sesión no ha sido completada después de tres días, cuando se hace click en la notificación, la aplicación redirige al usuario al cuadro de diálogo de dicha sesión).

Para el atleta, las notificaciones se muestran cuando:

- El entrenador marca una semana como “preparada”.
- El entrenador modifica (edita o elimina) una sesión en una semana definida como “preparada”.
- El entrenamiento no ha sido marcado como completado después de 3 días.
- El entrenador añade algún comentario a una tarea completada.

Este registro de actividad se encuentra siempre disponible para consultas posteriores.

3- Ajustes:

Los ajustes que pueden llevarse a cabo son los siguientes:

- Idioma: inglés o español.
- Unidades de distancia: kilómetros o millas.
- Unidades de peso: kilogramos o libras.

4- Cerrar sesión:

Cuando el usuario pulsa este botón, es redirigido a la página de inicio sin la sesión iniciada.

En la parte central de esta pantalla, se muestran los siguientes tres botones: planificación, test y calendario. Los dos últimos son accesos directos a submenús del botón “planificación”.

Panel de periodización

Cuando el atleta pulsa en este botón, el sistema lo redirige al panel de periodización (7.3.2.1). De esta forma, puede consultar la planificación de la temporada en cualquier momento, con una vista global única. No obstante, no es posible realizar ninguna edición. Esta función está sólo reservada al modo de entrenador.

En el menú lateral izquierdo, el deportista podrá acceder a las siguientes opciones:

1- Tests:

En esta sección el usuario puede consultar el historial de pruebas realizadas, pudiendo navegar entre varias disciplinas gracias a un menú que se activa una vez se accede a esta pantalla. No obstante, como en el caso anterior, no podrá realizar ninguna modificación o introducción de datos.

2- La carga de entrenamiento:

En esta pantalla el usuario puede visualizar los siguientes gráficos:

- **Evolución del estado de forma:**

Muestra la relación cuantitativa entre el entrenamiento y la respuesta adaptativa del organismo, basado en el modelo impulso-respuesta (Banister, 1991).

- **Distribución de la carga de entrenamiento.**

En un diagrama de sectores se muestran la distribución porcentual de cada disciplina de entrenamiento respecto al tiempo total del entrenamiento. Puede visualizarse de dos formas: por microciclo o mesociclo.

- Impacto de la carga de entrenamiento.

Muestra la evolución del porcentaje de cambio del Ln rMSSD y la frecuencia cardíaca de reposo semanal respecto a una línea basal establecida previamente.

- Evolución de las variables psicológicas.

En un gráfico de columnas se muestra la carga de entrenamiento, la cual es posible filtrar en dos tipos de unidad: ECOs y ECSs. Además, en línea se muestra la puntuación media semanal para cada una de las dimensiones en función del tipo de cuestionario seleccionado. De esta forma, es posible filtrar para seleccionar aquel que fuera del interés del atleta.

El entrenador puede elegir ocultar alguno de estos gráficos en el caso no fuera del interés del atleta.

3- El calendario

Esta pantalla es la más dinámica e interactiva para el atleta. Por defecto, esta aparece con una vista mensual. Cada semana es estructurada en una línea, donde cada día corresponde a un recuadro o espacio en el que se muestran las sesiones planificadas. Los días están encabezados por el día de la semana y el número del mes. El nombre del mes se muestra en la parte superior junto al año. Es posible desplazarse hacia abajo con el ratón para navegar entre los meses o utilizar la herramienta de búsqueda para seleccionar un día concreto. El atleta puede:

- Modificar la vista:

Puede alternar entre la vista por mesociclo o macrociclo.

- Consultar el resumen semanal

- Marcar sesiones como completadas.

Una vez el atleta indica ha realizado la sesión, este debe pulsar en el botón “He completado la sesión de entrenamiento”. Realizada esta acción, el color de la sesión cambia en el calendario para fácilmente el entrenador pueda distinguir entre las completadas y las pendientes. El atleta puede visualizar el tiempo y/o distancia total, calculado automáticamente en función a las etapas programadas, en las cuales puede modificar las variables (zona objetivo, tiempo, etc.) ajustando la sesión a lo realmente realizado. Además, puede introducir un comentario e indicar la puntuación del ejercicio en relación a la percepción subjetiva del esfuerzo (Day, McGuigan, Brice, y Foster, 2004). Por último, el atleta debe introducir manualmente o mediante la herramienta de importación de la sesión, el tiempo para cada zona de entrenamiento, generando una gráfica para cada sesión. Estos datos servirán posteriormente para el cálculo de la carga de entrenamiento.

- Descargar la sesión:

Todas las sesiones pueden descargarse en una versión .pdf. De esta forma, el entrenador o el atleta puede imprimir o consultar de forma práctica el programa de ejercicios. Esta función es especialmente útil en natación, donde los entrenamientos engloban una combinación de mayor de repeticiones, distancias y ejercicios técnicos.

- Acceder a los gráficos de cada sesión:

Por otro lado, en cuadro de diálogo utilizado para introducir la sesión de entrenamiento, tanto el atleta como el entrenador pueden encontrar el apartado “Gráficos”, donde se muestra en un gráfico de líneas la evolución de la frecuencia cardíaca, velocidad o desnivel durante el entrenamiento en función al tiempo transcurrido.

7.5 Conclusión

Esta plataforma reúne los requisitos para responder a las necesidades de los profesionales en el ámbito del deporte, concretamente respecto en disciplinas de resistencia, para crear y supervisar el proceso de planificación, diseño, evaluación y control de las tareas de entrenamiento, con rigor científico. Desde una perspectiva aplicada, es esencial que la conclusión de las tesis doctorales proyecte este tipo de herramientas. De esta forma, la trayectoria y los resultados teórico-prácticos conforman la base de rigor para el uso de esta aplicación, incorporando métodos de control novedosos como la VFC. Actualmente, ITPM es el primer sistema que reúne estas características y funciones en el ámbito de las ciencias del deporte diseñado en base a la literatura científica.

7.6 Futuros desarrollos

Los métodos de control de la progresión del rendimiento, entendido este como un concepto multifactorial, deben incorporar a los psicólogos como figuras fundamentales en las tareas de evaluación de atleta. Sólo de esta forma es posible una comprensión de los comportamientos de las variables que esta plataforma presenta. Por esta razón, la conexión con la plataforma de evaluación psicosocial MENPAS (González, Hernández-Mendo y Pastrana, 2010) es una de las posibilidades para la incorporación de las evaluaciones psicológicas en el calendario del atleta. Del mismo modo, la creación de un perfil para el psicólogo deportivo que permita la elaboración de informes, resulta un paso fundamental para el desarrollo de esta aplicación.

7.7 Referencias

- Banister, E. W. (1991). Modeling elite athletic performance. In Physiological testing of elite athletes (pp. 403–424). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Billman, G. E. (2011). Heart rate variability - A historical perspective. *Frontiers in Physiology*, 2, 1–13. <http://doi.org/10.3389/fphys.2011.00086>
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 17–19. <http://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>
- Calvert, T. W., Banister, E. W., Savage, M. V., y Bach, T. (1976). A Systems Model of the Effects of Training on Physical Performance. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 6(2), 94–102. <http://doi.org/10.1109/TSMC.1976.5409179>
- Cejuela, R., y Esteve-Lanao, J. (2011). Training load quantification in triathlon. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6, 218–232. <http://doi.org/10.4100/jhse.2011.62.03>
- Day, M. L., McGuigan, M. R., Brice, G., y Foster, C. (2004). Monitoring exercise intensity during resistance training using the session RPE scale. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(2), 353–8. <http://doi.org/10.1519/R-13113.1>
- Esteve Lanao, J. (2011). Cuantificación de la carga de fuerza. *Sporttraining*, 39, 26–31.
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., ... Dodge, C. (2001). A New Approach to Monitoring Exercise Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109–115. <http://doi.org/10.1519/00124278-200102000-00019>
- Foulds, H. J. A., Cote, A. T., Phillips, A. A., Charlesworth, S. A., Bredin, S. S. D., Burr, J. F., ... Warburton, D. E. R. (2014). Characterisation of baroreflex sensitivity of recreational ultra-endurance athletes. *European Journal of Sport Science*, 14(7), 686–94. <http://doi.org/10.1080/17461391.2014.884169>

- González Ruiz, S. L., Hernández Mendo, A., Pastrana Brincones, J.L. (2010). Herramienta software para la evaluación psicosocial de deportistas y entornos deportivos. *Lecturas: EF y Deportes. Revista Digital*, 15(144).
- Hautala, A., Tulppo, M. P., Mäkikallio, T. H., Laukkanen, R., Nissilä, S., y Huikuri, H. V. (2001). Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. *Clinical Physiology*, 21(2), 238–245. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2281.2001.00309.x>
- Hedelin, R., Wiklund, U., Bjerle, P., y Henriksson-Larsén, K. Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 1531–1533 (2000).
- Hernandez Mendo, A., González, S. L., Morales Sánchez, V., Guillén, F., y Reigal, R. (2013). Evidencias de validez del POMS-6. Huelva: XIV Congreso Andaluz y I Congreso Internacional Luso-Andaluz de Psicología del Deporte y de la Actividad Física.
- Mujika, I., Goya, A., Ruiz, E., Grijalba, A., Santisteban, J., y Padilla, S. (2002). Physiological and performance responses to a 6-day taper in middle-distance runners: Influence of training frequency. *International Journal of Sports Medicine*, 23(5), 367–373. <http://doi.org/10.1055/s-2002-33146>
- Pallarés, J. G. (*), y Morán Navarro, R. (2012). Propuesta metodológica para el entrenamiento de la resistencia cardiorrespiratoria. *Journal of Sport and Health Research*, 4, 119–136.
- Rønnestad, B. R., y Mujika, I. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 24(4), 603–612. <http://doi.org/10.1111/sms.12104>

- Seiler, S., Haugen, O., y Kuffel, E. (2007). Autonomic recovery after exercise in trained athletes: Intensity and duration effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(8), 1366–1373. <http://doi.org/10.1249/mss.0b013e318060f17d>
- Task Force. (1996). Guidelines Heart rate variability. *European Heart Journal*, 17, 354–381. <http://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
- Wakayoshi, K., Ikuta, K., Yoshida, T., Udo, M., Moritani, T., Mutoh, Y., y Miyashita, M. (1992). Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64(2), 153–157.
- Wakayoshi, K., Yoshida, T., Udo, M., Kasai, T., Moritani, T., Mutoh, Y., y Miyashita, M. (1992). A Simple Method for Determining Critical Speed as Swimming Fatigue Threshold in Competitive Swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 13(5), 367–371. <http://doi.org/10.1055/s-2007-1021282>
- Wallace, L. K., Slattery, K. M., y Coutts, A. J. (2014). A comparison of methods for quantifying training load: relationships between modelled and actual training responses. *European Journal of Applied Physiology*, 114(1), 11–20. <http://doi.org/10.1007/s00421-013-2745-1>
- Whisenant, M. J., Panton, L. B., East, W. B., y Broeder, C. E. (2003). Validation of Submaximal Prediction Equations for the 1 Repetition Maximum Bench Press Test on a Group of Collegiate Football Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(2), 221–227. <http://doi.org/10.1519/00124278-200305000-00002>

Capítulo 8

Discusión y conclusiones

8 Capítulo 8: Discusión y conclusiones [Inglés]

Athletes, coaches and scientists in sport sciences have always addressed the study of useful factors to control the physiological response in order to achieve the competition success. The identification of these variables is important to build tools, which may allow to assess the fitness level from a multidisciplinary perspective (Bompa and Haff, 2009) (based on quantitative parameters) in order to facilitate making decisions as increasing or decreasing the training load, the inclusion or not of a specific task or the prevention of non-functional over-reached states (Meeusen et al., 2013). In this way, it could not only be applied for the development of the athlete, but also for the systematic study of their relationship. In this line, the objective of this doctoral thesis is to analyze the indicators, both psychological and physiological, associated to sport performance in order to determine practical applications for the evaluation and control of the training process.

This research has first highlighted the influence of chronological age on performance. According to several authors (Campo, 2013, Delorme, Boiché, and Raspaud, 2010), this factor may affect the sport success possibilities due to the relationship between physical capacities and maturation (Malina, Bouchard, and Bar-Or, 2003). Other authors, as Müller et al. (2015) warn about how the relative age effect (RAE) could be decisive on athletic performance in competition. These studies reveal the need to consider RAE as one of the physiological factors that could help to understand the performance as a multifactorial concept.

In the first study, according to the background, the RAE is analyzed on the performance of a group of triathletes during the time keeping of the national selection process. The statistical analysis shows significant differences between athletes born in the first (January-March) and last (October-December) part of the year, where the first

have best results in both race and swimming disciplines. Although these factors may influence others such as experience or self-concept (Campo, 2013), these findings coincide with those found by other studies (Costa, Marques, Louro, Ferreira, and Marinho, 2013). This work highlights the importance of including the chronological age as one of the possible elements that are part of the performance concept.

Building on the elements of performance in endurance sports, it is not possible to ignore the cardiovascular and pulmonary capacity as surely the main determinants of the result in competition. The traditional parameter used as a tool to control the training tasks to improve this capacity is the heart rate (HR). Although this object of study has been widely discussed in the literature, it has recently focused its interest on another indicator, namely heart rate variability (HRV). Despite this variable has been pointed out by several authors (Buchheit, 2014; Plews, 2013) as an effective indicator for monitoring the stress-recovery process, its use in the sport field is still low due to methodological inconsistencies related to its application and interpretation.

Identified as one of the main determinants of performance in endurance (cardiovascular and pulmonary capacity), the second research aims to evaluate the methodology to use HRV as a tool to control the training status. Thus, the first step is to show the reliability and validity of the measure, where the studies show an excellent concordance (Wallén et al., 2012; Weippert et al., 2010) with traditional evaluation methods. However, these results are more consistent in the male gender, so it is necessary to be careful with the interpretation of the data according to gender or age (Buchheit, 2014; Quintana, Guastella, Outhred, Hickie, and Kemp, 2012; Schäfer et al., 2015). The literature then defines the short duration intervals at rest on waking with a frequency of 3-4 times per week as the most appropriate method for evaluation. For the

analysis of change (Hopkins, Hawley, & Burke, 1999), it is necessary to compare the weekly mean with a baseline established in the first weeks of training.

Although this doctoral thesis was able to establish a system of physiological control of sport performance, it is necessary to remember at this point that it is a multifactorial concept, and in agreement with other authors (Buchheit, 2014), it is only possible to interpret accurately the modulation of these indicators when the psychological dimension is taken into account as a part of the athlete. The third and fourth research analyze both types of variables in order to establish psychophysiological relationships to improve the interpretation of this concept.

The first case, after collecting and systematically analyzing 141 physiological and psychological records over a 25-week period in an experienced athlete, shows that HRV control is a useful tool to prevent non-functional over-reached (NFOR) states. However, its relation with psychological variables such as sleep quality or mood state (POMS), allow an effective interpretation of the stress-recovery process. From a physiological perspective, these results coincide with other studies (Plews, Laursen, Kilding, and Buchheit, 2012, 2014), but from an holistic point of view, both investigations are pioneers in researching both physiological and psychological variables in relation to the fitness level.

In the fourth study, a negative relationship between the parasympathetic activity indexes and the time was identified. This fact evidences something that other authors (Garet et al., 2004; Nummela, Hynynen, Kaikkonen, and Rusko, 2010) have suggested - based on experimental method in laboratory. In this case, the research shows in field situations a similar conclusion. On the other hand, this work shows an inverse relationship between HRV indexes and POMS factors, emphasizing the importance of

including psychometric tests (e.g., mood profile) in sport performance assessment systems.

So far, the findings have shown the need to use psychological and physiological development strategies in order to optimize the capabilities to reach the success in competition. On the one hand, the physiological control can be done monitoring HRV as an indicator of cardiovascular capacity, considering the relative age effect, to predict and guide the training tasks. On the other hand, psychological variables (i.e. sleep quality or mood state) correlate with HRV and they are sensitive to variations in volume and intensity. These facts may indicate that it would be interesting to develop control methods including psychological and physiological variables, as well as the use of empowerment strategies based on the variables mentioned above.

In this way, the fifth research uses autogenic training (AT) as a method of physiological (i.e. lung capacity) and psychological development. Statistical analysis, after the application of this technique, have not shown significant improvements related to the physiological parameters. However, the psychological variables, understood as constructs that are part of the performance multifactorial concept, were shown to be sensitive to the intervention. The results are similar to other studies (Navaneethan and Rajan, 2010), supporting the usefulness of this method. Finally, in addition to examine practical applications, this doctoral thesis established the objective of creating tools to control and assess the physiological and psychological factors in endurance sports.

In this way, International Periodization Training Method (ITPM) introduce a web platform whose objective is to guide coaches and scientists in the process of planning, designing, assessing and controlling the training sessions. In addition to an intuitive periodization panel based on the different sports planning models (Costa, 2013), the

trainer has state-of-the-art control tools based on the monitoring of physiological indicators such as HRV and psychological as quality of sleep or mood state, in accordance with the results of the previous research and indications of other authors (Al Haddad, Laursen, Chollet, Ahmaidi, and Buchheit, 2011, Buchheit, 2014, Plews et al., 2012). Actually, ITPM is thus positioned as the first system in the sport sciences designed on the basis of the scientific requirements.

In conclusion, the results obtained in each one of the studies have been important to accomplish the specific objectives of this work. As for the two general objectives, the creation of the ITPM platform is a very useful tool for professionals of endurance disciplines, allowing to act according to the strictest scientific principles from an holistic perspective. On the other hand, it allows the collection of data in a systematic way, which, applied to a significant number of users, could become a scientific tool with sufficient capacity to continue the exploration of psychological and physiological variables and its relation with sport performance.

8.1 Referencias

- Al Haddad, H., Laursen, P. B., Chollet, D., Ahmaidi, S., y Buchheit, M. (2011). Reliability of resting and postexercise heart rate measures. *International Journal of Sports Medicine*, 32(8), 598–605. <http://doi.org/10.1055/s-0031-1275356>
- Bompa, T., y Haff, G. G. (2009). *Periodization: Theory and Methodology of Training* (5th ed.). Hardback.
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 17–19. <http://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>

- Campo, D. G. (2013). Revisión y propuestas de intervención sobre el Efecto de la Edad Relativa en los ámbitos educativo y deportivo. [Review of relative age effects and potential ways to reduce them in sport and education]. *Retos: Nuevas Tendencias En Educación Física, Deporte Y Recreación*, 23, 51–63.
- Costa, A. M., Marques, M. C., Louro, H., Ferreira, S. S., y Marinho, D. A. (2013). The relative age effect among elite youth competitive swimmers. *European Journal of Sport Science*, 13(5), 437–44. <http://doi.org/10.1080/17461391.2012.742571>
- Costa, I. A. (2013). Los modelos de planificación del entrenamiento deportivo del siglo XX.
- Delorme, N., Boiché, J., y Raspaud, M. (2010). Relative age effect in elite sports: Methodological bias or real discrimination? *European Journal of Sport Science*, 10(2), 91–96. <http://doi.org/10.1080/17461390903271584>
- Garet, M., Tournaire, N., Roche, F., Laurent, R., Lacour, J. R., Barthélémy, J. C., y Pichot, V. (2004). Individual Interdependence between nocturnal ANS activity and performance in swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(12), 2112–2118.
- Hopkins, W. G., Hawley, J. A., y Burke, L. M. (1999). Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(3), 472–85. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10188754>
- Malina, R. M., Bouchard, C., y Bar-Or, O. (2003). *Growth, Maturation y Physical Activity* (2sd ed.). Champaign, Ill: Human Kinetics Pub Inc.
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., ... Urhausen, A. (2013). Prevention, Diagnosis, and Treatment of the Overtraining Syndrome. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(1), 186–205. <http://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318279a10a>

- Navaneethan, B., y Soundara Rajan, R. (2010). Effect of Progressive Muscle Relaxation Training on Competitive Anxiety of Male Inter-Collegiate Volleyball Players. *Journal of Physical Education and Sports Science*, 5, 44–57.
- Nummela, A., Hynynen, E., Kaikkonen, P., y Rusko, H. (2010). Endurance performance and nocturnal HRV indices. *International Journal of Sports Medicine*, 31(3), 154–159. <http://doi.org/10.1055/s-0029-1243221>
- Plews, D. J. (2013). The Practical Application of Heart Rate Variability - Monitoring Training Adaptation in World Class Athletes. University of Auckland, New Zealand.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., y Buchheit, M. (2012). Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training A case comparison. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3729–3741. <http://doi.org/10.1007/s00421-012-2354-4>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., y Buchheit, M. (2014). Heart-Rate Variability and Training-Intensity Distribution in Elite Rowers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 1026–1032. <http://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0497>
- Quintana, D. S., Guastella, A. J., Outhred, T., Hickie, I. B., y Kemp, A. H. (2012). Heart rate variability is associated with emotion recognition: Direct evidence for a relationship between the autonomic nervous system and social cognition. *International Journal of Psychophysiology*, 86(2), 168–172. <http://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.08.012>
- Schäfer, D., Gjerdalen, G. F., Solberg, E. E., Khokhlova, M., Badtieva, V., Herzig, D., ... Wilhelm, M. (2015). Sex differences in heart rate variability: a longitudinal study in international elite cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology*, 3190–3200. <http://doi.org/10.1007/s00421-015-3190-0>

Wallén, M. B., Hasson, D., Theorell, T., Canlon, B., Osika, W., y Ward, S. a. (2012).

Possibilities and limitations of the polar RS800 in measuring heart rate variability at rest. *European Journal of Applied Physiology*, 112(3), 1153–1165.

<http://doi.org/10.1007/s00421-011-2079-9>

Weippert, M., Kumar, M., Kreuzfeld, S., Arndt, D., Rieger, A., y Stoll, R. (2010).

Comparison of three mobile devices for measuring R-R intervals and heart rate variability: Polar S810i, Suunto t6 and an ambulatory ECG system. *European Journal of Applied Physiology*, 109(4), 779–786. [http://doi.org/10.1007/s00421-](http://doi.org/10.1007/s00421-010-1415-9)

010-1415-9

9 Limitaciones y futuras líneas de investigación

Esta tesis doctoral presenta en alguno de sus estudios una serie de limitaciones, por ejemplo, el tamaño de la muestra, donde se observa un estudio de casos con un participante. No obstante, es necesario destacar la dificultad en la realización de investigaciones de tipo longitudinal y considerar la individualización como principio fundamental en la ciencia del entrenamiento deportivo. De ahí el valor de este tipo de investigaciones de aplicación práctica, que además son escasas en la literatura actual. Aunque los resultados no son generalizables, estos proveen información cualitativa y cuantitativa relevante para la continuación de esta línea de investigación.

Por otro lado, sería interesante la inclusión de otro tipo de constructos psicológicos como la robustez mental, así como el estudio de su relación con variables fisiológicas como la VFC. No obstante, las investigaciones realizadas son una primera aproximación al conocimiento de los correlatos psicofisiológicos e interacciones que se producen con el rendimiento deportivo. El análisis de los datos generados a través de la aplicación ITPM, podrían permitir contrastar los resultados con los de otros atletas en el futuro. La investigación realizada, además de satisfacer los objetivos propuestos, ofrece nuevas evidencias y herramientas que garantizan la continuación de esta línea de investigación en la ciencia del deporte.

Anexos

10 Estudio 1:

Ortigosa-Márquez, J.M.; Reigal, R.; Serpa, S. y Hernández-Mendo, A. (201x). Efectos de la edad relativa en el proceso de selección nacional de triatletas / Relative Age Effect on National Selection Process in Triathlon. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* vol. x (x) pp. xx. Pendiente de publicación/ In press.

RESUMEN:

El objetivo de este estudio fue analizar el efecto de la edad relativa (RAE) en el proceso de selección nacional de triatletas ($n = 1321$) durante las temporadas 2013-2015. La muestra fue dividida por categorías y sexo. Cada una fue subdividida en 4 cuartiles según la fecha de nacimiento. Las diferencias fueron analizadas mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis. Para la comparación múltiple se utilizó *U* de Mann Whitney. Los resultados mostraron que el rendimiento en las pruebas analizadas presentaba una mejor tendencia en aquellos deportistas nacidos en el primer cuartil del año para el sexo masculino. En esta línea, los atletas nacidos en la última parte mostraron un peor rendimiento general. Estos resultados fueron menos consistentes para el sexo femenino. Este trabajo ha puesto de manifiesto la influencia del RAE en los procesos de identificación de talentos y la estructura competitiva, sugiriendo su consideración en los procesos de selección.

DOI: Pendiente de publicación/ In press.

11 Estudio 2:

Ortigosa-Márquez, J.M.; Reigal, R.; Carranque-Chaves, Gabriel y Hernández-Mendo, A. (201x). Variabilidad de la frecuencia cardíaca: investigación y aplicaciones prácticas en el ámbito deportivo. *Revista Iberoamericana de Psicología del Ejercicio y del Deporte* vol. x (x) pp. xx. Pendiente de publicación/ In press.

RESUMEN:

Esta revisión analiza las principales aplicaciones y limitaciones de los monitores de frecuencia cardíaca en el ámbito deportivo. Los aspectos clave, que tanto investigadores como entrenadores deberían considerar, han sido expuestos con el fin de optimizar su uso en el control diario del entrenamiento mediante la monitorización de la variabilidad de la frecuencia cardíaca. Estos se refieren a la fiabilidad y validez; así como consideraciones metodológicas fundamentales para su registro e interpretación. Teniendo en cuenta sus limitaciones, este trabajo manifiesta la utilidad de los principales indicadores de actividad parasimpática (i.e. rMSSD) donde monitorizados en reposo durante cortos periodos, 3-4 ves por semana, podrían mejorar los procesos de control de adaptación al entrenamiento, tanto fisiológicos como psicológicos, en deportes individuales y colectivos. En conjunto, el análisis muestra que la frecuencia cardíaca en reposo podría ser una herramienta útil para valorar la respuesta del organismo y maximizar el rendimiento deportivo.

DOI: Pendiente de publicación/ In press.

Estudio 4:

Ortigosa-Márquez, J.M.; Reigal, R.; Portell, Mariona; Hernández-Mendo, A. y Morales-Sánchez, Verónica. Observación automatizada: la variabilidad de la frecuencia cardíaca y su relación con las variables psicológicas determinantes del rendimiento en nadadores jóvenes / Automated observation: heart rate variability and its relationship with performance-related psychological variables in young swimmers. *Anales de Psicología*, 33(3), 436-441.

RESUMEN:

La correcta interpretación de los marcadores de rendimiento En las etapas de desde una perspectiva psicofisiológica es importante para el desarrollo de los atletas en etapas formativas. Este trabajo contiene dos objetivos. El primero es analizar la relación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) con las variables psicológicas: calidad de sueño, autoestima y estados de ánimo en jóvenes nadadores de una escuela profesional. El segundo objetivo es estudiar la relación de la VFC y determinantes psicológicos con el rendimiento. Esta se compuso 9 nadadores (11.7 ± 1.4 años) basada en un método de muestreo a propósito, pertenecientes a una escuela profesional. Las mediciones fueron efectuadas una vez por semana durante tres semanas de entrenamiento. El análisis estadístico muestra como la dimensión de ansiedad correlacionó negativamente con el logaritmo natural de banda de alta frecuencia (Ln HF) y positivamente con el logaritmo natural de la banda de muy baja frecuencia (Ln VLF) de forma significativa. No se encontraron relaciones para las variables autoestima y calidad de sueño. El tiempo en la prueba de rendimiento fue asociado negativamente con indicadores de la actividad parasimpática. Estos resultados sugieren que la VFC podría ser una herramienta válida para la predicción del rendimiento y mejora de la interpretación de la ansiedad.

DOI: <http://dx.doi.org/10.6018/analesps.33.3.270991>

Estudio 5:

Ortigosa-Márquez, J.M.; Carranque-Chaves, Gabriel y Hernández-Mendo, A (2015).

Efectos del entrenamiento autógeno en la capacidad pulmonar, ansiedad competitiva y vitalidad subjetiva / Effects of autogenic training on lung capacity, competitive anxiety and subjective vitality. *Biomedical Research*, 26(1), 71-76.

RESUMEN:

El objetivo de este estudio es analizar el efecto de la práctica regular del entrenamiento Autógeno (EA) sobre la capacidad pulmonar, la vitalidad subjetiva y la ansiedad competitiva. 18 atletas voluntarios de nivel popular fueron distribuidos al azar en dos grupos: control (n-9) y experimental (n-9), éstos practicaron, durante 6 semanas, E.A. Se efectuaron mediciones pre y post intervención espirométricas: pico de flujo respiratorio (PEF), el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1); de Vitalidad Subjetiva (escala EVS) y de Ansiedad Competitiva (escala CSAI-2). Se apreció una mejoría significativa ($p=0.001$) de la Vitalidad Subjetiva y en la Ansiedad Competitiva (dimensión autoconfianza). No se observaron variaciones en las restantes variables evaluadas. La práctica regular del E.A. podría resultar útil para mejorar algunos de los parámetros asociados al rendimiento deportivo.

DOI: n/a

Estancia internacional
– Facultad de Motricidad Humana –
Universidad de Lisboa

12 Estancia internacional.

12.1 Datos generales:

- **Título del proyecto:** Determinantes del rendimiento deportivo y estrategias para su optimización en deportes de resistencia: uso de la variabilidad de la frecuencia cardíaca.
- **Formato:** compendio de artículos.
- **Doctorando:** Jesús Manuel Ortigosa Márquez
- **Lugar:** Facultad de Motricidad Humana, Universidad técnica de Lisboa.
- **Duración de la estancia:** tres meses (Julio-Octubre-Noviembre).
- **Tutor:** Dr. D. Antonio Rosado

12.2 Objetivos específicos:

- 1) Redactar el artículo: “Variabilidad de la frecuencia cardíaca: investigación y aplicaciones prácticas en el ámbito deportivo”.
- 2) Redactar el artículo: “Monitorización de la variabilidad de la frecuencia cardíaca y su relación con las variables del rendimiento: estudio de caso”.
- 3) Componer el marco teórico en relación a los contenidos de los diferentes artículos compuestos.
- 4) Contrastar la metodología utilizada en artículos confeccionados.
- 5) Participar en las actividades propuestas en el programa de doctorado organizado por la Universidad de Lisboa.

12.3 Indicadores de evaluación

- Construcción del problema de investigación.
- Producción científica.
- Redacción del marco teórico en concordancia a los sucesivos contenidos tratados.
- Aplicación de la metodología de análisis estadístico acordada y exposición de los resultados.
- Elaboración de una memoria sobre la realización de actividades.

12.4 Memoria: Seminario Internacional - Sport Expertise: Biological Behavioural Constraints -

Fecha: 1 de Octubre de 2015.

Lugar: Facultad de Motricidad Humana, Universidad técnica de Lisboa.

Exposición 1

Título: Training diaries and their under-utilized potential for maximising the performance of elite athletes (Veronica Vleck, FMH)

Resumen:

La ponente ha expuesto la utilidad de los diarios en la monitorización diaria del entrenamiento. Las referencias utilizadas coinciden las bases utilizadas en esta tesis doctoral sobre la variabilidad de la frecuencia cardíaca. La ponente expone la ventaja de los diarios contra a veces, la cantidad de variables que los entrenadores pretenden controlar, saturando al mismo de información que no es capaz de procesar. Como

ejemplo, ha expuesto el caso de un entrenador que trabaja con VFC y los problemas que presenta en el cálculo diario, uso e influencia de otros parámetros. En términos generales, ha expuesto que los diarios de entrenamiento son una de las herramientas más útiles que puede tener el entrenador para recibir información de la modulación de la carga de entrenamiento en las capacidades de los atletas.

Opinión: no estoy de acuerdo en que la VFC suponga un “gran” trabajo extra en la monitorización diaria del entrenamiento, del mismo modo que no coincido en que la toma de decisiones sobre la dirección de un entrenamiento pueda basarse sólo en los datos cualitativos recogidos en el diario del atleta. Las evidencias en la literatura y en los estudios que estamos llevando a cabo muestran que es posible incorporar la VFC de una manera práctica su uso diario en el atleta. Si bien es cierto, que la información que el entrenador obtenga de un diario es complementaria y en algunos casos puede ayudar a explicar ciertos comportamientos que por ahora no se han logrado explicar a través de un modelo matemático. Como han apuntado algunos profesores más tarde en los comentarios, los datos biológicos deben estar presentes en el control del entrenamiento deportivo. En definitiva, el objetivo reside en la selección apropiada de indicadores prácticos que permitan al entrenador tomar las mejores decisiones sobre hacia dónde direccionar el entrenamiento.

Exposición 2

Título: Maturation phenomenon and its application to talent and physical performance (Isabel Fragoso, FMH).

Resumen:

En este caso se han expuesto varios estudios realizados con población portuguesa y se ha puesto de manifiesto el efecto de la edad relativa en jugadores jóvenes en fútbol con una muestra, en mi opinión, algo pequeña para este tipo de estudios ($n = 139$) y sin ninguna originalidad más allá de lo que ya conocemos. La profesora ha abordado el problema desde la hipótesis madurativa y sí ha sido interesante escuchar qué variables, además de la fecha de nacimiento, han tenido en cuenta para demostrar este hecho. Ha aportado varias soluciones posibles, realizar grupos de atletas según su estado de maduración ósea, reconstrucción del sistema de captación de talentos e incluir programas de formación para los entrenadores. Algunas de estas conclusiones son las que mostramos en el estudio que hemos realizado con los triatletas.

Exposición 3

Título: Sport Expertise: Insights from Neuroscience (Ana Maria Abreu, FMH).

Resumen:

Esta ponencia ha estado relacionada con la neurociencia, concretamente expone las formas de reconocimiento del grado de “expertise” en el deporte. La ponente presentó un estudio donde la muestra la forman jugadores y entrenadores de baloncesto. Ambos grupos fueron divididos en dos tipos de grupo: experimental y control. En el caso de la condición experimental, estos eran monitorizados en todo momento con una interfaz neural. A continuación, se presentaba un video de un jugador lanzando a canasta, pero cortando la imagen antes de que pudiera verse si este anotaba. En cada escena, el participante debía pulsar un botón, en función a su percepción sobre si este anotaba o no. En la condición control, los jugadores debían pulsar el botón cuando la pelota que lanzaba el jugador del vídeo cambiaba de color. Los resultados del estudio muestran

como los jugadores obtuvieron mejores puntuaciones que los entrenadores, es decir, reconocían en función al gesto motor si la pelota entraba o no en el aro sin necesidad de ver el video completo. Para la neurociencia, también se observaron diferencias en las zonas de activación entre aquellos que puntuaban mejor que otros. En concreto, se expone que los expertos tienen una capacidad de reconocimiento y anticipación mayor gracias a la activación del área extraestriada coporal. Del mismo modo, también se expuso el efecto de las redes neuronales espejo que permiten el establecimiento de una base motora para ejecutar una acción nueva tras haberla observado. La ponente expuso otro estudio en el que los participantes eran expuestos a videos de boxeo y las zonas neurales que se activan ante el golpeo respecto a aquellos que no habían visualizado eran diferentes.

Exposición 4

Título: Elite soccer teams as instance of complex adaptive systems (Ricardo Duarte)

Resumen:

El ponente ha presentado un estudio que tiene como objetivo analizar la sinergia entre las acciones de situaciones 2vs1 en rugby entre atacantes respecto a la posición del defensor. Para ello, la investigación presenta la modulación del ángulo entre los jugadores atacantes y su velocidad como el parámetro de comparación. Los resultados muestran que a medida que el defensor avanza, la posición de la sinergia en 18 de 52 intentos resulta positiva y ambos se movilizan como una sola unidad, cuando uno acelera el otro también, etc. La utilización del Plot de Poincaré para el análisis de los datos en base a la entre los ejes SD1 y SD2 (como en la VFC) para el análisis de comportamientos de variables complejas en este estudio, resulta similar a la aproximación teórica que

utilizamos para los análisis de la VFC.

Exposición 5

Título: Genomics of elite sporting performance: The Human Athlome Project
(Yannis Pitsiladis, Brighton)

Resumen:

Esta ponencia de 45 minutos ha realizado un recorrido por los principales hallazgos o estudios que se ocupan en el ámbito genético. Desde 1985 a 2014 han sido descubiertos un total de 697 genomas que podrían determinar el rendimiento deportivo. De esta forma, defiende que la proliferación de atletas de raza negra ganadores en Maratón, etc., no es debido a la genética sino a factores socio-culturales. En este momento, el ponente expone, que aún están muy lejos de identificar los genes que determinan el rendimiento deportivo. Por otro lado, se han presentado estudios, dónde en ausencia de un tipo de gen el rendimiento en deportes de resistencia podría ser mayor, y en cambio, en presencia del mismo, favorece aquellas disciplinas que requieren del metabolismo anaeróbico (e.g. carrera de 100 m).

12.5 Consideraciones finales

El periodo de estancia en la Facultad de Motricidad Humana, con la tutorización del Dr. D. Antonio Rosado, ha supuesto un punto de inflexión en el desarrollo de esta tesis doctoral. No solamente por la posibilidad de compartir el día a día en esta institución, sino por el acceso a conocer otro tipo de metodologías de trabajo y profesionales de diferentes áreas. En general, el trabajo desempeñado satisface los objetivos planteados. En concreto, la construcción del marco teórico fue una de las tareas que ocupó un mayor

volumen de tiempo. La línea argumental, coincidiendo con el Prof. es una de las tareas más importantes que van a determinar *a posteriori* el resultado final de este trabajo. Por otro lado, la revisión metodológica de los estudios, así como su redacción coordinada con el Dr. D. Antonio Rosado, derivaron en publicaciones de calidad que han hecho posible la finalización de esta tesis doctoral.